

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003年10月23日 (23.10.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/087898 A1(51) 国際特許分類7:
5/28, G01J 9/00, H01S 5/0687

G02B 5/30,

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP02/09173

(22) 国際出願日: 2002年9月9日 (09.09.2002)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
PCT/JP02/03715 2002年4月15日 (15.04.2002) JP

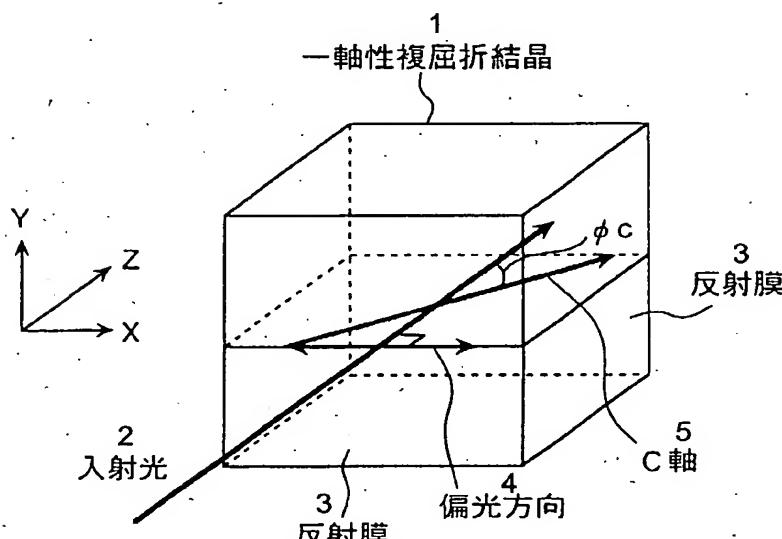
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 今城正雄 (IMAKI,Masao) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 平野嘉仁 (HIRANO,Yoshihito) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 見上洋平 (MIKAMI,Yohei) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: WAVELENGTH FILTER AND WAVELENGTH MONITORING APPARATUS

(54) 発明の名称: 波長フィルタおよび波長モニタ装置



- 1...UNI-AXIAL DOUBLY REFRACTING CRYSTAL
2...INCIDENT LIGHT
3...REFLECTING FILM
4...DIRECTION OF POLARIZATION
5...C-AXIS

あるとともに、その光学軸が前記略

WO 03/087898 A1

(57) Abstract: A light-transmissive solid material; planes formed in the solid material and facing substantially parallel to each other, and a wavelength filter for periodically selecting the wavelength determined by the optical path length between the planes facing each other by performing resonance between the planes facing substantially parallel to each other. The solid material is a doubly refracting material and the optical axis thereof has a predetermined angle with respect to the normal to the planes facing substantially parallel to each other. Thus, the temperature characteristic of the wavelength filter can be freely set, and an arbitrary wavelength characteristic can be selected by changing the temperature of the wavelength filter.

(57) 要約: 光を透過する固体材料と、固体材料に形成された略平行に対向する平面と、略平行に対向する平面間で光を共振させ、対向平面間の光路長できまる波長を周期的に選択する波長フィルタにおいて、固体材料が複屈折材料で

[続葉有]



(JP). 佐藤 瞳 (SATOH,Makoto) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都 千代田区 丸の内二丁目 2番 3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 足立 明宏 (ADACHI,Akihiro) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都 千代田区 丸の内二丁目 2番 3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 西村 靖典 (NISIMURA,Yasunori) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都 千代田区 丸の内二丁目 2番 3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 酒井 宏明 (SAKAI,Hiroaki); 〒100-0013 東京都 千代田区 霞ヶ関三丁目 2番 6号 東京俱楽部ビルディング Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CN, JP, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

添付公開書類:

— 國際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCT gazetteの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

平行に対向する平面の法線と所定の角度を有することを特徴とし、これにより波長フィルタの温度特性を自由に設定することができるようになり、さらに波長フィルタの温度を変化させることで任意の波長特性を選択できるようになる。

明細書

波長フィルタおよび波長モニタ装置

5 技術分野

この発明は、波長分割多重伝送（WDM）方式などに用いられるレーザ光の波長を選択する波長フィルタおよび該波長フィルタを用いてレーザ光の発振波長を測定する波長モニタ装置に関するものである。

10 背景技術

第1図は、特開平03-160774号公報に示された従来の波長モニタ装置を示す構成図である。第1図において、半導体レーザ101は出射する光信号の波長を制御することができるものである。半導体レーザ101より発射された光は、光学レンズ105により平行光に変換され、平行光はさらに光検出器108を介して、例えはフォトダイオードに集光される。他方の光は、ファブリペロー共振器111に入射する。ファブリペロー共振器111は、反射膜109、ビームスプリッタ106により2方向に分岐される。分岐された一方の光はレンズ107を介し、110を有し、2種類の光学材料で形成されている。ファブリペロー共振器111を透過した光は、レンズ112を介し、光検出器113に集光される。

第2図は第1図におけるファブリペロー共振器111の構成図である。1種類の光学材料で形成されたファブリペロー共振器の温度係数 γ は式（1）であらわされる。ここで、 n は光学材料の屈折率、 α は光軸方向の線膨張係数である。

$$\gamma = \alpha + \frac{1}{n} \left(\frac{dn}{dt} \right) \quad (1)$$

一般に知られているファブリペロー共振器はガラス材料が用いられる。その場合、線膨張係数 α および屈折率 n の温度係数（熱光学係数）は固定されているた

め、温度係数 γ は一意的に決まってしまう。

この温度係数 γ がゼロになれば、ファブリペロー共振器 111 の共振器長は温度に応じて変化せず、半導体レーザ 101 から出射され、ファブリペロー共振器 111 を透過した光強度の波長依存性も変化しないので、共振器 111 の温度に 5 関係無く正確に波長をモニタすることができる。この温度係数 γ をゼロにするために、ファブリペロー共振器 111 は、温度係数 γ の符号が互いに異なる 2 種類の光学材料で構成される。ファブリペロー共振器 111 全体の温度係数をゼロにするためには、式 (2) を満たす必要がある。

$$r_1 n_{01} l_{01} + r_2 n_{02} l_{02} = 0 \quad (2)$$

10

ここで、 n_{01} 、 l_{01} はそれぞれ第 1 の光学材料の屈折率および物理長、 r_1 は第 1 の光学材料の式 (1) による温度係数である。また、 n_{02} 、 l_{02} はそれぞれ第 2 の光学材料の屈折率および物理長、 r_2 は第 2 の光学材料の温度係数である。ファブリペロー共振器 111 を実際に構成するのに、温度係数が正の値を持つ光学材料として、石英を用い、温度係数が負の値を持つ光学材料としてルチルを用いた場合、それぞれの C 軸 (光学軸) が光軸と同じ方向を向いているとすると、ルチルの温度係数の絶対値が石英の温度係数の絶対値の 2.7 倍となることから、 $|n_{01} l_{01}| : |n_{02} l_{02}| = 2.7 : 1$ という関係を満たす。

ここで、 n_{01} 、 l_{01} は水晶の屈折率および物理長、 n_{02} 、 l_{02} はルチルの屈折率および物理長である。式 (2) を満たすようにそれぞれの物理長を調整することにより、共振器長 $L = n_{01} l_{01} + n_{02} l_{02}$ の変化しないファブリペロー共振器を構成することができる。なお、 $|n_{01} l_{01}| : |n_{02} l_{02}|$ の比は 2.7 : 1 から変更することにより温度係数を任意に変更することができる。

上記従来技術では、温度係数の符号が異なる 2 個の光学材料を用いて、温度に 25 対して共振器長が変化しないようなファブリペロー共振器を構成しているため、2 個の光学材料を張り合わせる必要がある。2 個の光学材料を張り合わせる際に

は、それぞれの材料の屈折率差による接合面での反射および、接着剤と光学材料の屈折率差による接合面における反射を考慮に入れる必要があり、光学材料もしくは接着剤の組み合わせについて検討を行う必要があり、各種の面倒な調整作業を行う必要がある。

5 また、従来、一種類の光学材料から構成されるファブリペロー共振器を用いると、任意の温度係数を選択することが困難であった。

この発明は、上記に鑑みてなされたもので、複屈折結晶を用いて、温度変化に応じて共振器長の変化しないファブリペロー共振器（波長フィルタ）を構成し、これにより構成が単純化され、大量生産を実現することができる波長フィルタおよび該波長フィルタを備えた波長モニタ装置を得ることを目的とする。

10 また、この発明は、波長フィルタの温度特性を自由に設定することができ、さらに波長フィルタの温度を変化させることで任意の波長特性を選択することができる波長フィルタおよび該波長フィルタを備えた波長モニタ装置を得ることを目的とする。

15

発明の開示

この発明にかかる波長フィルタは、光を透過する固体材料と、前記固体材料に形成された略平行に対向する平面と、前記略平行に対向する平面間で光を共振させ、対向平面間の光路長できる波長を周期的に選択する波長フィルタにおいて、前記固体材料が複屈折材料であるとともに、その光学軸が前記略平行に対向する平面の法線と所定の角度を有することを特徴とする。

20

この発明によれば、光学軸が略平行に対向する平面の法線と所定の角度を有する複屈折材料を用いるようにしており、これにより前記角度を変化させることで波長フィルタの温度特性を自由に設定することができ、さらに波長フィルタの温度を変化させることで任意の波長特性を選択することができる。

25

つぎの発明は、上記の発明において、上記略平行に対向する平面の法線と光学軸との間の所定の角度は、上記平面間の光路長の温度係数が所定の値を有するよ

うに設定されていることを特徴とする。

この発明によれば、平面間の光路長の温度係数が所定の値を有するように設定されているので、温度変化によって波長特性を調節することを簡単且つ高精度に実現することができ、ITUグリッドへの調整も容易となる。

5 つぎの発明は、上記の発明において、上記複屈折材料は、屈折率と光軸方向の線膨張係数との積と熱光学係数との和の絶対値が最小になるように上記略平行に対向する平面の法線と光学軸との角度が設定されていることを特徴とする。

この発明によれば、温度特性を十分低い値に抑えることができ、温度補償機能を有する波長フィルタを提供することができる。したがって、波長フィルタの構成が単純化され、波長フィルタとしての信頼性が向上するとともに、生産時に面倒な調整作業を行わなくてもよくなり、大量生産を実現することができる。

10 つぎの発明は、上記の発明において、上記複屈折材料は、光学軸に平行な方向の線膨張係数と光学軸に平行に伝播する光の屈折率との積と光学軸に平行に伝播する光の熱光学係数との和と、光学軸に垂直な方向の線膨張係数と光学軸に垂直な方向に伝播する光の屈折率との積と光学軸に垂直な方向に伝播する光の熱光学係数との和が互いに異符号であることを特徴とする。

15 この発明によれば、光学軸が平面の法線と成す角度を0～90度変化させる間で、温度特性がゼロとなる所定の角度が存在することになり、前記角度を温度特性がゼロとなる所定の角度に設定することで、温度補償機能を有する波長フィルタを提供することができる。したがって、波長フィルタの構成が単純化され、波長フィルタとしての信頼性が向上するとともに、生産時に面倒な調整作業を行わなくてもよくなり、大量生産を実現することができる。

20 つぎの発明は、上記の発明において、上記複屈折材料は、 α -BBO結晶、 β -BBO結晶、 LiIO_3 結晶、 CaCO_3 結晶のいずれかであることを特徴とする。

25 この発明によれば、複屈折結晶として、 α -BBO、 β -BBO、 LiIO_3 、 CaCO_3 のいずれかを用いた場合において、高精度の温度補償機能を持つ波長

フィルタを実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記複屈折材料に入射する光は異常光軸に揃えた偏光を用い、複屈折材料が α -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約64度とし、複屈折材料が β -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約65度とし、複屈折材料がLiIO₃の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約23度とすることを特徴とする。

この発明によれば、異常光軸に入射する光の偏光を揃え、また複屈折材料として、 α -BBO、 β -BBO、LiIO₃のいずれかを用いた場合において、高精度の温度補償機能を持つ波長フィルタを実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記複屈折材料に入射する光は常光軸に揃えた偏光を用い、複屈折材料が α -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約77度とし、複屈折材料が β -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約57度とし、複屈折材料がLiIO₃結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約19度とし、複屈折材料がCaCO₃結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約66度とすることを特徴とする。

この発明によれば、常光軸に入射する光の偏光を揃え、また複屈折材料として、 α -BBO、 β -BBO、LiIO₃、CaCO₃のいずれかを用いた場合において、高精度の温度補償機能を持つ波長フィルタを実現することができる。

つぎの発明にかかる波長モニタ装置は、半導体レーザから出力されるレーザ光の波長をモニタする波長モニタ装置において、レーザ光を透過する固体材料と、前記固体材料に形成された略平行に対向する平面と、前記略平行に対向する平面間でレーザ光を共振させ、対向平面間の光路長できまる波長を周期的に選択する波長フィルタと、前記波長フィルタの透過光に基づきレーザ光の発振波長を測定する波長検出手段を備え、前記固体材料が複屈折材料であるとともに、その光学軸が前記略平行に対向する平面の法線と所定の角度を有することを特徴とする。

この発明によれば、光学軸が略平行に対向する平面の法線と所定の角度を有する複屈折材料を用いて波長フィルタを構成するようにしているので、前記角度を

変化させることで波長フィルタの温度特性を自由に設定することができ、さらに波長フィルタの温度を変化させることで任意の波長特性を選択することが可能となる。

つぎの発明は、上記の発明において、前記半導体レーザから出力されるレーザ光は、1方向に偏光されたものであり、上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、前記レーザ光の光軸と偏光方向とで作られる平面に対し平行な面内に光学軸があり、この光学軸がレーザ光の光軸に対し所定の角度に傾いていることを特徴とする。

この発明によれば、異常光軸に入射される光の偏光を揃えており、温度を変化させることで任意の波長特性を選択することが可能な波長フィルタを持つ波長モニタを実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、前記半導体レーザから出力されるレーザ光は、1方向に偏光されたものであり、上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、前記レーザ光の光軸と偏光方向とで作られる平面に対し垂直な面内に光学軸があり、この光学軸がレーザ光の光軸に対し所定の角度に傾いていることを特徴とする。

この発明によれば、常光軸に入射される光の偏光を揃えており、温度を変化させることで任意の波長特性を選択することが可能な波長フィルタを持つ波長モニタを実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、前記波長フィルタを構成する複屈折材料は、結晶の屈折率、光軸方向の線膨張係数および熱光学係数に基づき、光学軸の光軸に対する角度が設定されていることを特徴とする。

この発明によれば、屈折率、光軸方向の線膨張係数および熱光学係数に基づき、光学軸の光軸に対する角度が設定された複屈折結晶を用いているので、複屈折結晶を用いて、温度補償機能を持つ波長フィルタを持つ信頼性の高い波長モニタを実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、前記略平行に対向する平面の法線と光学

軸との所定の角度は、上記平面間の光路長の温度係数が所定の値を有するように設定されていることを特徴とする。

この発明によれば、平面間の光路長の温度係数が所定の値を有するように設定されているので、温度変化によって波長特性を調節することを簡単且つ高精度に 5 実現することができ、ITUグリッドへの調整も容易となる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記複屈折材料は、屈折率と光軸方向の線膨張係数との積と熱光学係数との和の絶対値が最小になるように上記略平行に対向する平面の法線と光学軸との角度が設定されていることを特徴とする。

この発明によれば、波長フィルタの温度特性を十分低い値に抑えることができ 10 るので、構成が単純化され、波長モニタとしての信頼性が向上するとともに、生産時に面倒な調整作業を行わなくてもよくなり、大量生産を実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記複屈折材料は、光学軸に平行な方向の線膨張係数と光学軸に平行に伝播する光の屈折率との積と光学軸に平行に伝播 15 する光の熱光学係数との和と、光学軸に垂直な方向の線膨張係数と光学軸に垂直な方向に伝播する光の屈折率との積と光学軸に垂直な方向に伝播する光の熱光学係数との和が互いに異符号であることを特徴とする。

この発明によれば、光学軸が平面の法線と成す角度を0～90度変化させる間で、温度特性がゼロとなる所定の角度が存在することになり、前記光学軸が平面の法線と成す角度を温度特性がゼロとなる所定の角度に設定することで、波長フィルタは温度補償機能を有するようになり、これにより構成が単純化され、波長モニタとしての信頼性が向上するとともに、生産時に面倒な調整作業を行わなく 20 てもよくなり、大量生産を実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記複屈折材料は、 α -BBO結晶、 β -BBO結晶、LiIO₃結晶、CaCO₃結晶のいずれかであることを特徴とする。 25

この発明によれば、複屈折結晶として、 α -BBO、 β -BBO、LiIO₃、

CaCO_3 のいずれかを用いた場合において、高精度の温度補償機能を持つ波長フィルタを備えた波長モニタ装置を実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記複屈折材料に入射する光は異常光軸に揃えた偏光を用い、複屈折材料が α -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約64度とし、複屈折材料が β -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約65度とし、複屈折材料が LiIO_3 の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約23度とすることを特徴とする。

この発明によれば、異常光軸に入射する光の偏光を揃え、また複屈折材料として、 α -BBO、 β -BBO、 LiIO_3 のいずれかを用いた場合において、高精度の温度補償機能を持つ波長フィルタを備える波長モニタ装置を実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記複屈折材料に入射する光は常光軸に揃えた偏光を用い、複屈折材料が α -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約77度とし、複屈折材料が β -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約57度とし、複屈折材料が LiIO_3 結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約19度とし、複屈折材料が CaCO_3 結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約66度とすることを特徴とする。

この発明によれば、常光軸に入射する光の偏光を揃え、また複屈折材料として、 α -BBO、 β -BBO、 LiIO_3 、 CaCO_3 のいずれかを用いた場合において、高精度の温度補償機能を持つ波長フィルタを備える波長モニタ装置を実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、屈折率と光軸方向の線膨張係数との積と、熱光学係数との和は零に一致するよう光学軸の光軸に対する角度が設定されていることを特徴とする。

この発明によれば、異常光軸にレーザ光の偏光を揃える場合、屈折率と光軸方向の線膨張係数との積と、熱光学係数との和が零に一致するよう光学軸の光軸に対する角度が設定されている一軸性複屈折結晶を用いているので、高精度の温

度補償機能を持つ波長フィルタを持つ波長モニタを実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、 α -BBO、 β -BBO、LiIO₃のいずれかとし、複屈折材料が α -BBOの場合は、光学軸の光軸に対する角度を63.35度とし、複屈折材料が β -BBOの場合は、光学軸の光軸に対する角度を64.75度とし、複屈折材料がLiIO₃の場合は、光学軸の光軸に対する角度を22.70度とすることを特徴とする。

この発明によれば、異常光軸に入射レーザ光の偏光を揃え、また、複屈折結晶として、 α -BBO、 β -BBO、LiIO₃のいずれかを用いた場合において、高精度の温度補償機能を持つ波長フィルタを持つ波長モニタを実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、 α -BBO、 β -BBO、LiLO₃、CaCO₃のいずれかとし、複屈折材料が α -BBOの場合は、光学軸の光軸に対する角度を76.95度とし、複屈折材料が β -BBOの場合は、光学軸の光軸に対する角度を57.05度とし、複屈折材料がLiLO₃の場合は、光学軸の光軸に対する角度を18.65度とし、複屈折材料がCaCO₃の場合は、光学軸の光軸に対する角度を67.05度とすることを特徴とする。

この発明によれば、常光軸に入射レーザ光の偏光を揃え、また、複屈折結晶として、 α -BBO、 β -BBO、LiIO₃、CaCO₃のいずれかを用いた場合において、高精度の温度補償機能を持つ波長フィルタを持つ波長モニタを実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、光学軸に対する設定角度を維持しつつ、その光軸方向の厚みを変化させることで、温度補償条件を満足させてかつ波長弁別領域を調節可能であることを特徴とする。

この発明によれば、温度補償条件が複屈折結晶の厚みに依存しないので、温度

調整条件を満たす任意の波長弁別領域を有する波長フィルタを得ることが可能である。

つぎの発明は、上記の発明において、前記半導体レーザから出射されるレーザ光のビームサイズを調節し、調節されたレーザ光を上記波長フィルタに出力する
5 レンズを備えることを特徴とする。

この発明によれば、レーザ光のビームサイズを調節して波長フィルタに入射することが可能となる。

つぎの発明は、上記の発明において、前記波長検出手段は、前記波長フィルタの透過光を検出する第1の光検出器と、前記半導体レーザから出力されるレーザ光を直接検出する第2の光検出器と、上記第1および第2の光検出器の検出信号の比を用いて前記レーザ光の発振波長を検出する波長検出部とを備えることを特徴とする。
10

この発明によれば、第1および第2の光検出器の検出信号の比を用いてレーザ光の発振波長を検出するようにしているので、半導体レーザの出力強度変化に影響されることなく発振波長を正確に検出することができる。
15

つぎの発明は、上記の発明において、前記半導体レーザおよび波長フィルタを載置するとともに、前記第2の光検出器が第1の光検出器より上方に位置するよう前記第1および第2の光検出器を設置するベースキャリアを更に備え、前記ベースキャリア上に載置された波長フィルタを透過したレーザ光が前記第2の光検出器で受光されないように波長フィルタの高さを調節していることを特徴とする。
20

この発明によれば、波長フィルタを透過したレーザ光が第2の光検出器で受光されなくなることなく、発振波長を正確に検出することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、前記半導体レーザおよび波長フィルタを載置するとともに、前記第2の光検出器が第1の光検出器より上方に位置するよう前記第1および第2の光検出器を設置するベースキャリアを更に備え、前記ベースキャリア上に載置された波長フィルタを透過したレーザ光が前記第2の光
25

検出器で受光されることがないように前記第2の光検出器を第1の光検出器よりも波長フィルタ側に接近させて配置していることを特徴とする。

この発明によれば、波長フィルタを透過したレーザ光が第2の光検出器で受光されることがなくなり、発振波長を正確に検出することができる。

5 つぎの発明は、上記の発明において、半導体レーザから出力されるレーザ光の波長をモニタする波長モニタ装置において、レーザ光を透過する第1の固体材料と、前記第1の固体材料に形成された略平行に対向する平面と、前記略平行に対向する平面間でレーザ光を共振させ、対向平面間の光路長できまる波長を周期的に選択し、前記固体材料が複屈折材料であるとともに、その光学軸が前記略平行
10 に対向する平面の法線と所定の角度を有する狭帯域用の第1の波長フィルタと、
レーザ光を透過する第2の固体材料と、前記第1の固体材料に形成された略平行
に対向する平面と、前記略平行に対向する平面間でレーザ光を共振させ、対向平面間の光路長できまる波長を周期的に選択し、前記固体材料が複屈折材料である
とともに、その光学軸が前記略平行に対向する平面の法線と所定の角度を有する
15 広帯域用の第2の波長フィルタと、前記第1および第2の波長フィルタの透過光
に基づきレーザ光の発振波長を測定する波長検出手段とを備えたことを特徴とする。

この発明によれば、構成が単純化され、波長モニタとしての信頼性が向上するとともに、生産時に面倒な調整作業を行わなくてもよくなり、大量生産を実現することができる。さらに、この発明では、狭帯域用および広帯域用の2つの波長フィルタを用いてレーザ光の発振波長のモニタリングを行っているので、極めて正確に発振波長を検出することが可能となる。

つぎの発明は、上記の発明において、前記半導体レーザから出力されるレーザ光は、1方向に偏光されたものであり、上記第1および第2の波長フィルタを構成する複屈折材料は、前記レーザ光の光軸と偏光方向とで作られる平面に対し平行な面内に光学軸があり、この光学軸がレーザ光の光軸に対し所定の角度に傾いていることを特徴とする。

この発明によれば、異常光軸にレーザ光の偏光を揃えており、複屈折結晶を用いて、温度補償機能を持つ2つの波長フィルタを持つ波長モニタを実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、前記半導体レーザから出力されるレーザ光は、1方向に偏光されたものであり、上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、前記レーザ光の光軸と偏光方向とで作られる平面に対し垂直な面内に光学軸があり、この光学軸がレーザ光の光軸に対し所定の角度に傾いていることを特徴とする。

この発明によれば、常光軸にレーザ光の偏光を揃えており、複屈折結晶を用いて、温度補償機能を持つ2つの波長フィルタを持つ波長モニタを実現することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、上記広帯域用の第2の波長フィルタの波長弁別領域が半導体レーザの波長可変領域より大きく、狭帯域用の第1の波長フィルタの波長弁別領域が第1の波長フィルタの波長可変領域に比べて十分小さくなるように、第1および第2の波長フィルタを構成する複屈折材料の光軸方向の厚みを設定することを特徴とする。

この発明によれば、複屈折結晶の光軸方向の厚み設定により狭帯域用および広帯域用の2つの波長フィルタを構成するようにしており、簡便に狭帯域用および広帯域用の2つの波長フィルタを実現することが可能となる。

つぎの発明は、上記の発明において、前記波長検出手段は、前記第1の波長フィルタの透過光を検出する第1の光検出器と、前記半導体レーザから出力されるレーザ光を直接検出する第2の光検出器と、前記第2の波長フィルタの透過光を検出する第3の光検出器と、上記第1および第2の光検出器の検出信号の比および前記第3および第2の光検出器の検出信号の比を用いて前記レーザ光の発振波長を検出する波長検出部とを備えることを特徴とする。

この発明によれば、第1および第2の光検出器の検出信号の比と、第3および第2の光検出器の検出信号の比とを用いてレーザ光の発振波長を検出するように

しているので、半導体レーザの出力強度変化に影響されることなく発振波長を極めて正確に検出することができる。

つぎの発明は、上記の発明において、前記半導体レーザおよび波長フィルタを載置するとともに、前記第2および第3の光検出器が第1の光検出器より上方に位置するように前記第1～第3の光検出器を設置するベースキャリアを更に備え、前記ベースキャリア上に載置された波長フィルタを透過したレーザ光が第2および第3の光検出器で受光されないように前記第2および第3の光検出器を第1の光検出器よりも波長フィルタ側に接近させて配置していることを特徴とする。

この発明によれば、波長フィルタを透過したレーザ光が第2および第3の光検出器で受光されることがなくなり、発振波長を正確に検出することができる。

図面の簡単な説明

第1図は従来の波長モニタ装置の構成図であり、第2図は従来のファブリペロー共振器を示す斜視図であり、第3図は実施の形態1における波長モニタ装置の構成図であり、第4図はファブリペロー共振器（波長フィルタ）の波長に対する透過率の変化を示すグラフであり、第5図は一軸性複屈折結晶を用いたファブリペロー共振器（波長フィルタ）を表す構成図であり、第6図は β -BBO結晶の物性値を示す図であり、第7図は β -BBO結晶の $d n/d T + \alpha n$ の温度Tに対する依存性を示すグラフであり、第8図は β -BBO結晶の線膨張係数 α のC軸-光軸間角度 ϕ_c に対する依存性を示すグラフであり、第9図は β -BBO結晶の異常光屈折率nのC軸-光軸間角度 ϕ_c に対する依存性を示すグラフであり、第10図は β -BBO結晶の異常光屈折率の温度に対する変化 $d n/d T$ のC軸-光軸間角度 ϕ_c に対する依存性を示すグラフであり、第11図は β -BBO結晶の ϕ_c に対する温度特性を示すグラフであり、第12図はCaCO₃結晶の ϕ_c に対する温度特性を示す図であり、第13図はLiIO₃結晶の ϕ_c に対する温度特性を示す図であり、第14図は α -BBO結晶の ϕ_c に対する温度特性を示す図であり、第15図はLiIO₃結晶の $d n/d T + \alpha n$ の温度Tに対する依存

性を示すグラフであり、第16図は実施の形態1における波長制御装置を表す構成図であり、第17図は実施の形態1の波長モニタ装置の変更態様を示す構成図であり、第18図は実施の形態2における波長モニタ装置の構成図であり、第19図は実施の形態2における波長制御装置の構成図であり、第20図は、狭帯域用のファブリペロー共振器（波長フィルタ）および広帯域用のファブリペロー共振器（波長フィルタ）のそれぞれの波長透過特性を示すグラフであり、第21図は実施の形態2の波長モニタ装置の変更態様を表す構成図である。

発明を実施するための最良の形態

10 以下に添付図面を参照して、この発明にかかる波長モニタ装置の好適な実施の形態を詳細に説明する。

実施の形態1.

15 第3図はこの発明の実施の形態1による波長モニタ装置（あるいは波長安定化光源）を示す構成図である。半導体レーザ1は一方向に偏光したレーザ光（以下光信号と称する）を出射する。半導体レーザ1としては、例えば、活性層中に回折格子を有する分布帰還型(DFB)レーザ、注入電流または温度によって波長を変えることができる波長可変レーザダイオード、または電界吸収素子とレーザダイオードとを直列に配置した複合型(EA/LD)モジュールなどを採用する。また、半導体レーザ1は、第16図に示されている波長制御装置から入力される制御信号20 T1によって注入電流または温度等が変化し、波長が制御される。

半導体レーザ1から出射される光信号は、レンズ2によって集光され、平行光として出力される。このレンズ2によって、光信号のビームサイズを調整して、波長フィルタとしてのファブリペロー共振器3に入射する。半導体レーザ1の出射面中心とレンズ2の中心とを結ぶ軸が光軸となる。本実施の形態1および後述する実施の形態2では、光信号の進行方向(光軸方向)を空間座標においてZ軸の方向と定め、空間における上方向をY軸の方向と定め、Z軸およびY軸に直交する方向(第3図において紙面に垂直で、手前に向かう方向)をX軸と定める。半導

半導体レーザ1から出射される光信号はX軸方向に振動する偏光成分を有するものとする。

5 ファブリペロー共振器(波長フィルタ)3は、半導体レーザ1からの光信号が入射する入射面と出射する出射面とに光を反射する反射膜7および8を有し、その材料としては、一種類(一材料)の一軸性複屈折結晶のみ(例えば、 β -BBO結晶、 α -BBO結晶、 $LiIO_3$ 結晶、 $CaCO_3$ 結晶などのいずれか)で形成されている。ファブリペロー共振器3の材料として用いられる一軸性複屈折結晶の結晶切り出し面は光軸に直交するXY面に平行になるように配置され、一軸性複屈折結晶の光学軸(以下、C軸と称する)は、レーザ光の光軸に垂直なXY面に対して所定角度傾斜されている。

10 第1のフォトダイオード(主光検出器)4は、ファブリペロー共振器3を透過した光信号を受光しその強度(光電流値)を検出し、光強度モニタ信号S1を出力する。

15 第2のフォトダイオード(副光検出器)5は、第1のフォトダイオード4の上方に配置され、ファブリペロー共振器3を透過せず半導体レーザ1から出射される光信号を直接に受光しその強度(光電流値)を検出し、光強度モニタ信号S2を出力する。

20 これら半導体レーザ1、レンズ2、ファブリペロー共振器3、第1のフォトダイオード4および第2のフォトダイオード5は、ベースキャリア6上に設置されている。なお、ファブリペロー共振器3を透過した光信号が第2のフォトダイオード5で受光されることがないように、ファブリペロー共振器3の高さ、あるいは第2のフォトダイオード5の設置高さが調整されている。

25 ここで、ファブリペロー共振器3を透過した光信号の波長に対する透過特性は、温度変化に関係なく一定に保たれる。つまり、ファブリペロー共振器3は温度補償機能を有する。次に、ファブリペロー共振器3の温度補償条件を説明する。

第3図に示す波長モニタ装置においては、長方形状のファブリペロー共振器3の入射面に光信号が垂直に入射している。ファブリペロー共振器3は入射および

出射面に反射膜 7 および 8 を有し、その強度反射率を R とすると、ファブリペロー共振器 3 を透過した光信号強度の波長に対する依存性は式 (3) および第 4 図で表される。TR (λ) は透過率である。

$$TR(\lambda) = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R\sin^2\left(\frac{2\pi nL}{\lambda}\right)} \quad \dots (3)$$

5

この場合、ファブリペロー共振器 3 を透過した光信号の強度は光信号の周波数に対して周期的な変化を示す。この 1 周期分に対応する周波数間隔を、ファブリペロー共振器 3 を透過した光信号の波長に対するフリースペクトルレンジ(以下 F S R と称する、自由スペクトル間隔) という。F S R は、光軸方向の共振器長、第 3 図の場合においては一軸性複屈折結晶 3 の Z 軸方向の長さ L および屈折率 n に依存し、次の式 (4) で表される。c は光速である。

$$FSR = \frac{c}{2nL} \quad \dots (4)$$

ファブリペロー共振器 3 を透過した光信号強度の波長に対する依存性が温度によって変化しないということが、ファブリペロー共振器に対する温度補償条件である。したがって、温度補償を可能にするためには、式 (4) で表される F S R が温度に依存しないことが必要である。F S R が温度 T に対して一定であるためには、式 (4) において共振器長 n L が温度 T に対して一定の値を持つということが必要である。この関係を表したものが式 (5) である。

20

$$\frac{\partial}{\partial T}(nL) = \frac{\partial n}{\partial T}L + n\frac{\partial L}{\partial T} = 0 \quad \dots (5)$$

ファブリペロー共振器 3 の光軸方向(第 3 図における Z 方向)の線膨張係数を α

とすると、ファブリペロー共振器3の物理長さは式(6)で表される。

$$L = L_0(1 + \alpha T) \quad \dots \dots (6)$$

ここで、 L_0 は0°Cにおけるファブリペロー共振器のZ軸方向の物理長である。
5 式(5)を式(6)に代入すると、ファブリペロー共振器3の温度補償条件は式(7)となる。

$$\frac{\partial n}{\partial T} + n\alpha = 0 \quad \dots \dots (7)$$

10 ファブリペロー共振器3の材料として、一つのC軸を有する一軸性複屈折結晶を用いた場合における入射した光信号の光軸とC軸との位置関係と、ファブリペロー共振器3の線膨張係数および屈折率について説明する。

15 なお、レーザ光の偏光方向（この場合X方向）を一軸性複屈折結晶の異常光軸あるいは常光軸に揃えた場合でも、温度補償条件を満足させることができるが、以下の説明では、レーザ光の偏光方向を一軸性複屈折結晶の異常光軸に揃えた場合について説明する。

20 第5図において、ファブリペロー共振器の材料である一軸性複屈折結晶のC軸はX-Z平面内にあり、光軸はZ軸に対して平行であり、C軸は光軸に対して一定の角度 ϕ_c 傾いている。またファブリペロー共振器3に入射する光信号の偏光はファブリペロー共振器3に対してp偏光であり、第3図においてはX方向に対応している。異常光線は、C軸と光軸方向によって作られる面と同じ振動面をもつて、この場合、入射した光信号はファブリペロー共振器3内を異常光線として伝播することがわかる。異常光線に対する屈折率nは、光軸とC軸とのなす角 ϕ_c に依存し、 n_e および n_o は温度Tに依存することから、 $n(\phi_c, T)$ で表し、式(8)のようになる。

$$n(\phi_c, T) = n_0(T) \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \phi_c}{1 + \left(\frac{n_0(T)}{n_e(T)}\right)^2 \tan^2 \phi_c}} \quad \dots (8)$$

ここで、 n_e は C 軸と平行な方向の偏光成分に対する屈折率（異常光屈折率）であり、 n_0 は C 軸と垂直な方向の偏光成分に対する屈折率（常光屈折率）である。また $n(\phi_c, T)$ は、一軸性複屈折結晶を材料とするファブリペロー共振器に入射する光信号に対する屈折率である。

一軸性複屈折結晶の光軸方向における線膨張係数 α は式 (9) のように表される。 α_c は C 軸に平行な方向の線膨張係数、 α_a は C 軸に垂直な方向の線膨張係数である。

10

$$\alpha = \alpha_c \cos^2 \phi_c + \alpha_a \sin^2 \phi_c \quad \dots (9)$$

前記 dn/dT および α を用いると、第 4 図に示した波長特性の温度特性は、異常光軸方向および常光軸方向のそれぞれについて式 (10)、式 (11) で表される。

15 (異常光軸方向)

$$\frac{d\lambda}{dT} = \frac{dn(\phi_c)/dT + \alpha(\phi_c) \cdot n(\phi_c)}{n(\phi_c)} \cdot \lambda \quad \dots (10)$$

(常光軸方向)

$$\frac{d\lambda}{dT} = \frac{dn_0/dT + \alpha(\phi_c) \cdot n_0}{n_0} \cdot \lambda \quad \dots (11)$$

20 本出願における発明者たちは、ファブリペロー共振器の材料として検討を行った一軸性複屈折結晶について、C 軸の光軸に対する傾き ϕ_c の値を変化させること

とにより、式(7)を満たす一軸性複屈折結晶およびその場合の ϕ_c の値を調べた。その結果、 β -BBO(BaB_2O_4)結晶、 α -BBO結晶、 $LiIO_3$ 、 $CaCO_3$ などが式(7)を満たすことを見出した。これらの結晶は、レーザ光の波長変換素子として用いられている。

5 第6図に β -BBO結晶の諸特性を示す。すなわち、 β -BBOの異常光屈折率 n_e は1.5311で、常光屈折率 n_0 は1.6467で、熱光学係数 $d n_0/d T$ は $-16.8 \times 10^{-6}/K$ で、熱光学係数 $d n_e/d T$ は $-8.8 \times 10^{-6}/K$ で、線膨張係数 α_c は $33.3 \times 10^{-6}/K$ で、線膨張係数 α_a は $0.5 \times 10^{-6}/K$ である。

10 また、第7図に、 β -BBOからなる一軸性複屈折結晶をファブリペロー共振器3として用い、かつレーザ光の偏光方向を異常光軸に揃えた場合における式(7)に示した $\partial n/\partial T + n \alpha$ と、光軸とC軸となす角 ϕ_c との関係を示すグラフを示す。第8図は β -BBO結晶での線膨張係数 α の角度 ϕ_c に対する依存性を示すグラフであり、第9図は β -BBOの結晶での屈折率 n の角度 ϕ_c に対する依存性を示すグラフであり、第10図は β -BBOの結晶での $d n/d T$ の角度 ϕ_c に対する依存性を示すグラフである。すなわち、第8図の線膨張係数 α と角度 ϕ_c との関係と、第9図の屈折率 n と角度 ϕ_c との関係と、第10図の $d n/d T$ と角度 ϕ_c との関係とを用いて、第7図に示す $\partial n/\partial T + n \alpha$ と角度 ϕ_c との関係が得られる。

20 また、第11図は、1軸性複屈折結晶として β -BBOを用いた場合に、異常光軸方向と常光軸方向における ϕ_c と温度特性の関係を式(10)および式(11)を用いてグラフ化したものである。第11図によれば、C軸角度 ϕ_c を変化させることによって異常光軸方向は $-8 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ から $+36 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ まで、常光軸方向は $-15 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ から $+36 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ まで自由に温度特性を設定することができる。また、 $d n/d T + \alpha_c n > 0$ かつ $d n/d T + \alpha_a n < 0$ の関係があるために ϕ_c が $0 \sim 90$ 度の間で温度特性がゼロとなる ϕ_c が存在する。例えば、常光軸方向を用い温度特性を $\pm 1 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ 以下としたい場合は ϕ_c を約63

～6.7度のいずれかの値に設定すればよい。異常光軸方向を用い温度特性を±1 pm/°C以下としたい場合は ϕ_c を約5.5～5.9度のいずれかの値に設定すればよい。また、この温度特性を用いて波長特性を調整することができる。ITUグリッド波長を所望の波長制御ポイントに合わせたい場合、通常はフィルタを傾けることによって波長特性を変更するが、上記の特徴を用いてフィルタ（1軸性複屈折結晶）の温度を変化させることによって上記波長制御ポイントに合わせることができる。例えば、FSR=25GHz (=0.2nm)、温度特性が10pm/°Cに設定したβ-BBOを用いた場合、最大20°Cのフィルタ温度変化量で任意のロックポイントを使用することができる。なお、ITUグリッドは、国際電気通信連合（International Telecommunication Union）で指定された特定の波長領域、例えば1550nmのウインドウでの近接した間隔の波長セットであり、例えば100GHz間隔の場合は、約0.8nmの波長間隔に相当する。

第12図は、1軸性複屈折結晶としてCaCO₃を用いた場合、異常光軸方向と常光軸方向における ϕ_c と温度特性の関係を式（10）および式（11）を用いてグラフ化したものである。用いた物性定数は、異常光屈折率n_eは1.4771で、常光屈折率n_oは1.6337で、常光軸方向の屈折率の温度係数d_n_o/dTは $2.10 \times 10^{-6}/K$ で、異常光軸方向の屈折率の温度係数d_n_e/dTは $1.19 \times 10^{-5}/K$ で、線膨張係数 α_a は $-5.70 \times 10^{-6}/K$ で、線膨張係数 α_c は $2.44 \times 10^{-6}/K$ である。第12図によれば、 ϕ_c を変化させることによって異常光軸方向は+4pm/°Cから+40pm/°Cまで、常光軸方向は-7pm/°Cから+40pm/°Cまで自由に温度特性を設定することができる。また常光軸方向については、d_n/dT+ α_a n>0かつd_n/dT+ α_a n<0の関係があるために ϕ_c が0～90度の間で温度特性がゼロとなる ϕ_c が存在する。例えば、常光軸方向を用い温度特性を±1pm/°C以下としたい場合は ϕ_c を約6.5～7.0度のいずれかの値に設定すればよい。異常光軸方向において最小の温度特性を得たい場合には ϕ_c =90度に設定すればよい。また、この温度特性を用いて波長特性を調整することができる。ITUグリッド波

長を所望の波長制御ポイントに合わせたい場合、通常はフィルタを傾けることによって波長特性を変更するが、上記の特徴を用いてフィルタの温度を変化させることによって上記波長制御ポイントに合わせる。例えば、 $FSR = 25\text{ GHz}$ ($= 0.2\text{ nm}$)、温度特性が $1.0\text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ に設定した CaCO_3 を用いた場合、
5 最大 20°C のフィルタ温度変化量で任意のロックポイントを使用することができる。

第13図は、1軸性複屈折結晶として LiIO_3 を用いた場合、異常光軸方向と常光軸方向における ϕ_c と温度特性の関係を式(10)および式(11)を用いてグラフ化したものである。用いた物性定数は、異常光屈折率 n_e は $1.71\text{--}0.3$ で、常光屈折率 n_o は 1.8474 で、常光軸方向の屈折率の温度係数 $d n_o/dT$ は $-8.49 \times 10^{-5}/\text{K}$ で、異常光軸方向の屈折率の温度係数 $d n_e/dT$ は $-6.92 \times 10^{-5}/\text{K}$ で、線膨張係数 α_a は $2.80 \times 10^{-5}/\text{K}$ で、線膨張係数 α_c は $4.80 \times 10^{-5}/\text{K}$ である。第13図によれば、 ϕ_c を変化させることによって異常光軸方向は $-20\text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ から $+3\text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ まで、常光軸方向は $-28\text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ から $+3\text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ まで自由に温度特性を設定することができる。また常光軸方向、異常光軸とともに $d n_e/dT + \alpha_c n > 0$ かつ $d n_o/dT + \alpha_a n < 0$ の関係があるために ϕ_c が $0 \sim 90$ 度の間で温度特性がゼロとなる ϕ_c が存在する。例えば、常光軸方向を用い温度特性を $\pm 1\text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ 以下としたい場合は ϕ_c を約 $15 \sim 22$ 度のいずれかの値に設定すればよい。異常光軸方向を用い温度特性を $\pm 1\text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ 以下としたい場合は ϕ_c を約 $18 \sim 27$ 度のいずれかの値に設定すればよい。また、この温度特性を用いて波長特性を調整することができる。ITUグリッド波長を所望の波長制御ポイントに合わせたい場合、通常はフィルタを傾けることによって波長特性を変更するが、上記の特徴を用いてフィルタの温度を変化させることによって上記波長制御ポイントに合わせる。例えば、 $FSR = 25\text{ GHz}$ ($= 0.2\text{ nm}$)、温度特性が $1.0\text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ に設定した LiIO_3 を用いた場合、最大 20°C のフィルタ温度変化量で任意のロックポイントを使用することができる。

第14図は、1軸性複屈折結晶として α -BBOを用いた場合、異常光軸方向と常光軸方向における ϕ_c と温度特性の関係を式(10)および式(11)を用いてグラフ化したものである。用いた物性定数は、異常光屈折率 n_e は1.5300で、常光屈折率 n_o は1.6502で、常光軸方向の屈折率の温度係数 d_n 5 o/dT は $-9.30 \times 10^{-5}/K$ で、異常光軸方向の屈折率の温度係数 d_n e/dT は $-16.6 \times 10^{-5}/K$ で、線膨張係数 α_a は $4.0 \times 10^{-5}/K$ で、線膨張係数 α_c は $36.0 \times 10^{-5}/K$ である。第14図によれば、 ϕ_c を変化させることによって異常光軸方向は $-11 \text{ pm}/\text{ }^{\circ}\text{C}$ から $+47 \text{ pm}/\text{ }^{\circ}\text{C}$ まで、常光軸方向は $-3 \text{ pm}/\text{ }^{\circ}\text{C}$ から $+47 \text{ pm}/\text{ }^{\circ}\text{C}$ まで自由に温度特性を設定することができる。また常光軸方向、異常光軸とともに $d_n/dT + \alpha_c n > 0$ かつ $d_n/dT + \alpha_c n < 0$ の関係があるために ϕ_c が $0 \sim 90$ 度の間で温度特性がゼロとなる ϕ_c が存在する。例えば、常光軸方向を用い温度特性を $\pm 1 \text{ pm}/\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下としたい場合は ϕ_c を約 $74 \sim 80$ 度のいずれかの値に設定すればよい。異常光軸方向を用い温度特性を $\pm 1 \text{ pm}/\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下としたい場合は ϕ_c を約 $63 \sim 6$ 15 6 度のいずれかの値に設定すればよい。また、この温度特性を用いて波長特性を調整することができる。ITUグリッド波長を所望の波長制御ポイントに合わせたい場合、通常はフィルタを傾けることによって波長特性を変更するが、上記の特徴を用いてフィルタの温度を変化させることによって上記波長制御ポイントに合わせる。例えば、 $FSR = 25 \text{ GHz}$ ($= 0.2 \text{ nm}$)、温度特性が $10 \text{ pm}/\text{ }^{\circ}\text{C}$ に設定した α -BBOを用いた場合、最大 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ のフィルタ温度変化量で任意のロックポイントを使用することができる。

なお、上記の β -BBO、 CaCO_3 、 LiIO_3 、 α -BBO結晶以外にも、 $d_n/dT + \alpha_c n > 0$ かつ $d_n/dT + \alpha_c n < 0$ の関係、もしくは $d_n/dT + \alpha_c n < 0$ かつ $d_n/dT + \alpha_c n > 0$ の関係を満たす任意の結晶を用いて25もよい。この場合、 ϕ_c が $0 \sim 90$ 度の範囲で必ずゼロを示す温度特性が得られ、この付近の ϕ_c を選ぶことにより温度特性がゼロもしくは非常に少ない波長フィルタを得られる。

また、上記の $d n / d T + \alpha_c n > 0$ かつ $d n / d T + \alpha_a n < 0$ の関係、もしくは $d n / d T + \alpha_c n < 0$ かつ $d n / d T + \alpha_a n > 0$ の関係を満たさない関係であっても ϕ_c を調節することによって $d n / d T + \alpha n$ が最小、つまり式(10)、式(11)の温度特性が最小になる条件が得られる。

5. 第7図で示したように、一軸性複屈折結晶 β -BBOを用いた場合、光軸とC軸とのなす角 ϕ_c を 64.75 度にすると、 $\partial n / \partial T + n \alpha = 0$ となり、温度補償条件式(7)が満足される。例えば、実施の形態1に用いられている狭帯域用の波長モニタ装置において、FSRを、レーザ光の波長変動幅 0.8 nmに対応する 100 GHz ($1.0 \times 10^{11} \text{ Hz}$) と設定したいときには、式(4)および式(8)を用いて、一軸性複屈折結晶 β -BBOのZ軸方向の厚み $L = 970 \mu\text{m}$ を得る。この厚み $L = 970 \mu\text{m}$ は十分実用的なサイズである。

すなわち、第7図に示す $\partial n / \partial T + n \alpha$ と角度 ϕ_c との関係から、式(7)を満足する角度 ϕ_c を求め、この求めた角度 ϕ_c を用いて式(8)に基づき屈折率 n を求め、さらに求められた角度 ϕ_c および屈折率 n を用いて式(4)に基づき、一軸性複屈折結晶 3 のZ軸方向の長さ L を調整して、所望のFSRを得るようにする。

なお、温度補償条件式(7)は、一軸性複屈折結晶をファブリペロー共振器3として用いた場合、一軸性複屈折結晶のZ軸方向の長さ L には依存しないので、式(4)より温度補償条件を満たす任意のFSRを持つファブリペロー共振器を作ることができる。

次に第3図の波長モニタ装置の動作について説明する。半導体レーザ1から出射された光信号はレンズ2において集光される。この集光された光信号の上方部分は直接に第2のフォトダイオード5で受光される。第2のフォトダイオード5は受光した光信号の強度を検出しモニタする。この強度モニタ信号 S_2 と予め設定された光信号強度との差に基づき出力制御回路(図示省略)は、半導体レーザ1の光出力を一定に制御する。

また、レンズ2において集光された光信号の下方部分は、p偏光成分すなわち

X軸方向へ振動している光信号であり、光信号は β -BBOからなるファブリペロー共振器3を、C軸と角度 $\phi_c = 64.75$ 度をもって透過する。 β -BBO等の一軸性複屈折結晶を材料とするファブリペロー共振器3を透過する光信号の偏光方向は、一軸性複屈折結晶の異常光軸と平行であるため、ファブリペロー共振器3を透過する際、光信号の偏光は変わらずp偏光のまま保たれる。ファブリペロー共振器3より出射した光信号の強度は式(3)のような波長弁別特性を持ち、その特性は結晶の温度変化に関係なく一定に保たれるので、このファブリペロー共振器3は温度補償機能を持つ。

なお、この場合、 $\phi_c = 64.75$ に設定したが、この付近の角度であれば温度特性は十分低く抑えることができる。例えば、約55～59度の範囲では温度特性は $\pm 1 \text{ pm}/\text{°C}$ となり、従来のソリッドエタロンの温度特性($\sim 10 \text{ pm}/\text{°C}$)に比べて十分小さい。さらに、他の角度 ϕ_c においても異常光軸方向は $-8 \text{ pm}/\text{°C}$ から $+36 \text{ pm}/\text{°C}$ まで、常光軸方向は $-15 \text{ pm}/\text{°C}$ から $+36 \text{ pm}/\text{°C}$ までであれば任意に温度係数を選択できる。これにより温度変化によって波長特性を調節することが可能となり、ITUグリッドへの調整が容易となる。例えば、一軸性複屈折結晶3を $FSR = 25 \text{ GHz}$ となるように厚みを約3.6mmに、且つ温度特性が $8 \text{ pm}/\text{°C}$ となるように ϕ_c を設定する。この場合、一軸性複屈折結晶3の温度を 1 °C 変化させることによって 1 GHz 波長特性をずらすことが可能となる。従ってあらかじめ規定しておいた波長制御ポイントに 25 GHz スペーシングのITUグリッドに合わせようとした場合、半導体レーザ1を実装しているベースキャリア6の温度を最大 25 度変化させるとともに半導体レーザ1への注入電流調整により発振波長を変えることによって、所望の波長制御ポイントにも合わせることが可能となる。

第1のフォトダイオード4はファブリペロー共振器3を通過した光信号の強度を検出し、光強度モニタ信号S1を出力する。一方、第2のフォトダイオード5は、前述したように、半導体レーザ1から出射される光信号強度を直接検出し、光強度モニタ信号S2を出力する。これら光強度モニタ信号S1、S2は第16

図に示される波長制御装置 50 へ送られる。波長制御装置 50 は、光信号の波長を検出し、この検出波長があらかじめ設定された波長(たとえば第4図における基準波長 λ_0)に一致するように、半導体レーザ 1 を制御する。

波長制御装置 50 について説明する。第16図は波長制御装置 50 の構成図である。波長制御装置 50 は、波長検出部 51 とレーザ制御部 52 から構成される。波長検出部 51 には、第1および第2のフォトダイオードからの光強度モニタ信号 S1、S2 と、予め設定された基準波長 λ_0 が入力される。波長検出部 51 は、光強度モニタ信号 S1、S2 によって半導体レーザ 1 より出射されている光信号の発振波長を求め、この発振波長と基準波長 λ_0 との差を求める。レーザ制御部 52 には、波長検出部 51 から基準波長 λ_0 と半導体レーザ 1 から出射された発振波長との差が入力される。レーザ制御部 52 は、その差に応じて発振波長が基準波長 λ_0 に一致するように半導体レーザ 1 の温度や注入電流等を制御するための制御信号 T1 を求め、この制御信号 T1 を半導体レーザ 1 に出力する。

次に波長検出部 51 の動作について詳細説明する。ファブリペロー共振器 3 の波長に対する透過率の関係が第4図のようく表されている。第4図における基準波長 λ_0 に発振波長を合わせる場合について説明する。第4図によれば、基準波長 λ_0 の近傍の波長領域で見ると、第1のフォトダイオード 4 により検出される光強度モニタ信号 S1 の値は、光信号の波長が長波長側にずれると小さくなり、短波長側にずれると大きくなるということが分かる。この波長の変化に伴う光強度モニタ信号 S1 の変化をモニタし、基準波長 λ_0 からのずれを算出する。

次に、基準波長 λ_0 からのずれを算出する方法について説明する。半導体レーザ 1 より出射された光信号を直接に検出している光強度モニタ信号 S2 およびファブリペロー共振器 3 を透過した光信号を検出している光強度モニタ信号 S1 は、半導体レーザ 1 より出射される光信号の強度に比例して変化する。基準波長 λ_0 からのずれを検出するために、信号強度比 S1/S2 を算出する。光強度モニタ信号 S1、S2 は、半導体レーザ 1 より出射される光強度信号の大きさに依存するので、これらの信号強度比 S1/S2 は、ファブリペロー共振器 3 の透過率の

みに依存した値となる。

ファブリペロー共振器3の透過率は基準波長 λ_0 を含むスロープ内においては、波長に対して一意に定まるので、半導体レーザ1より出射された光信号の波長が λ_0 を含むスロープ内にあれば、信号強度比 S_1/S_2 の値が光信号の波長を表すことになる。特に、FSRの $1/2$ が半導体レーザ1の波長可変領域よりも十分大きく、波長可変領域が λ_0 を含む1つのスロープ内に含まれていれば、ファブリペロー共振器3を絶対波長モニタとして利用することができる。基準波長 λ_0 での信号強度比 S_1/S_2 を予め求め、この基準波長 λ_0 での信号強度比 S_1/S_2 を波長検出部51に記憶しておく。波長検出部51では、記憶している基準波長 λ_0 での信号強度比 S_1/S_2 と、第1、第2のフォトダイオード4、5からの光強度モニタ信号 S_1 、 S_2 に基づき求めた信号強度比 S_1/S_2 との差を求ることにより、発振波長と基準波長 λ_0 とのずれ（偏差）を算出する。この算出された偏差信号は、レーザ制御部52に入力される。

次にレーザ制御部52の動作について説明する。レーザ制御部52では、波長検出部51から入力される偏差信号を用いて、温度もしくは注入電流等の値を変化させる制御信号T1を半導体レーザ1に出力することにより、半導体レーザ1の波長を制御する。

半導体レーザ1の注入電流を変化させることにより波長を制御する場合、一般的に注入電流を増加し半導体レーザ1の出力を高くすると、半導体レーザ1の発振波長は長くなる。この場合、レーザ制御部52では、波長検出部51からの偏差信号を受けたとき、発振波長が基準波長よりも長波長側にずれていれば、半導体レーザ1への注入電流を減少させ、発振波長が基準波長よりも短波長側にずれていれば、半導体レーザ1への注入電流を増加させるような制御信号T1を半導体レーザ1に送る。

半導体レーザ1の温度を変化させることにより波長を制御する場合、一般的に温度を高くすると、半導体レーザ1の発振波長は長くなる。この場合、レーザ制御部52では、波長検出部51から偏差信号を受けたとき、発振波長が基準波長

よりも長波長側にずれていれば、半導体レーザ1の温度を高くし、発振波長が基準波長よりも短波長側にずれていれば、半導体レーザ1の温度を低くするよう制御信号T1を半導体レーザ1に送る。

なお、上記の説明では、レーザ光の偏光方向をp偏光としたが、s偏光のレーザ光、つまりC軸と光軸によって作られた平面に対して垂直な方向に偏光方向をもつレーザ光を一軸性複屈折結晶に入射するようにしても、式(7)の温度補償条件を満足させることができる。すなわち、上記式(7)は常光軸および異常光軸の両方について満足する。このように、常光軸にレーザ光の偏光方向を揃えた場合、別言すれば、レーザ光の光軸と偏光方向とで作られる平面に対して垂直な面内にC軸があるようにした場合は、光軸とC軸とのなす角度 ϕ_c は57.05度となる。なお、常光軸を用いた場合の屈折率nおよびd n/d tは角度 ϕ_c に依存せず、常に一定値をとる。そして、この場合は、式(7)中の線膨張係数 α のみが角度 ϕ_c によって変化する。

以上で明らかなように、この実施の形態1によれば、ファブリペロー共振器3を構成する一軸性複屈折結晶（例えば β -BBO（BaB₂O₄））を、C軸がレーザ光の光軸と偏光方向とで作られる平面内にあるいは該平面に垂直な面内にあり、かつこのC軸が光軸に対して一定の傾きを持つように配置するように構成したので、このファブリペロー共振器3は温度補償機能（ファブリペロー共振器3から出射した信号光の強度がその温度に依存しない機能）を有することができ、光信号の波長にのみ依存する光強度モニタ信号S1を検出しモニタすることができる。また、検出した光強度モニタ信号S1に基づき半導体レーザ1から出射される光信号の波長を所望の基準波長 λ_0 に制御することができる。さらに、一材料の一軸性複屈折結晶のみを用いたので、半導体レーザ装置の構成は簡略化でき、構成が簡略化されているので、波長モニタとしての信頼性を向上させることが可能となる。

上記実施の形態1では、ファブリペロー共振器3の材料として β -BBO結晶を用いたが、その材料として α -BBO(BaB₂O₄)結晶を用いた場合におい

ても温度補償条件式（7）を満たすことができる。

すなわち、 α -BBO結晶の場合、異常光軸にレーザ光の偏光を揃えたときには、 $\phi_c = 64.35$ 度となり、常光軸にレーザ光の偏光を揃えたときには、 $\phi_c = 76.95$ 度となる。

5 なお、このとき、 α -BBOの物性定数は、異常光屈折率 n_e が 1.5300 3で、常光屈折率 n_o が 1.6502 で、熱光学係数 $d n_o/d T$ が $-9.3 \times 10^{-6}/K$ で、熱光学係数 $d n_e/d T$ が $16.6 \times 10^{-6}/K$ で、線膨張係数 α_c は $36.0 \times 10^{-6}/K$ で、線膨張係数 α_a は $4.0 \times 10^{-6}/K$ である。

なお、この場合、異常光軸にレーザ光の偏光を揃えた場合に $\phi_c = 64.35$ 度、常光軸にレーザ光の偏光を揃えた場合に $\phi_c = 76.95$ 度に設定したが、この付近の角度であれば温度特性は十分低く抑えることができる。例えば、常光軸方向であれば約 $74 \sim 80$ 度の範囲では温度特性は $\pm 1 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ となり、従来のソリッドエタロンの温度特性（ $\sim 10 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ ）に比べて十分小さい。さらに、他の ϕ_c においても異常光軸方向は $-11 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ から $+47 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ まで、常光軸方向は $-3 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ から $+47 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ までであれば任意に温度係数を選択できる。これにより温度変化によって波長特性を調節することが可能となり、ITUグリッドへの調整が容易となる。例えば、一軸性複屈折結晶3を $F S R = 2.5 \text{ GHz}$ となるように厚みを約 3.6 mm に、且つ温度特性が $8 \text{ pm}/\text{ }^\circ\text{C}$ となるように ϕ_c を設定する。この場合、一軸性複屈折結晶3の温度を $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 変化させることによって 1 GHz 波長特性をずらすことが可能となる。従ってあらかじめ規定しておいた波長制御ポイントに 2.5 GHz スペーシングのITUグリッドに合わせようとした場合、半導体レーザ1を実装しているベースキャリア6の温度を最大 25 度変化させるとともに半導体レーザ1への注入電流調整により発振波長を変えることによって、所望の波長制御ポイントにも合わせることが可能となる。

25 また、第3図におけるファブリペロー共振器3の材料に LiIO_3 の結晶を用いた場合においても温度補償条件式（7）を満たすことができる。第15図は、異常光軸にレーザ光の偏光を揃えたときの、 LiIO_3 結晶の式（7）を示す d

$n/dT + \alpha n$ の角度 ϕ_c に対する依存性を示すグラフである。この第15図によれば、 LiIO_3 結晶を用い、異常光軸にレーザ光の偏光を揃えた場合には、温度補償条件 $dn/dT + \alpha n = 0$ を満たす角度 ϕ_c を 22.70 度と決定することができる。なお、 LiIO_3 結晶を用い、常光軸にレーザ光の偏光を揃えた場合には、温度補償条件 $dn/dT + \alpha n = 0$ を満たす角度 ϕ_c は 18.65 度である。

なお、この場合、異常光軸にレーザ光の偏光を揃えた場合に $\phi_c = 22.70$ 度、常光軸にレーザ光の偏光を揃えた場合に $\phi_c = 18.65$ 度に設定したが、この付近の角度であれば温度特性は十分低く抑えることができる。例えば、常光軸方向であれば約 15 ~ 22 度の範囲では温度特性は $\pm 1 \text{ pm}/\text{°C}$ となり、従来のソリッドエタロンの温度特性 ($\sim 10 \text{ pm}/\text{°C}$) に比べて十分小さい。さらに、他の ϕ_c においても異常光軸方向は $-20 \text{ pm}/\text{°C}$ から $+3 \text{ pm}/\text{°C}$ まで、常光軸方向は $-28 \text{ pm}/\text{°C}$ から $+3 \text{ pm}/\text{°C}$ までであれば任意に温度係数を選択できる。これにより温度変化によって波長特性を調節することが可能となり、ITUグリッドへの調整が容易となる。例えば、一軸性複屈折結晶 3 を $\text{FSR} = 25 \text{ GHz}$ となるように厚みを約 3.6 mm に、且つ温度特性が $8 \text{ pm}/\text{°C}$ となるように ϕ_c を設定する。この場合、一軸性複屈折結晶 3 の温度を 1 °C 変化させることによって 1 GHz 波長特性をずらすことが可能となる。従ってあらかじめ規定しておいた波長制御ポイントに 25 GHz スペーシングのITUグリッドに合わせようとした場合、半導体レーザ 1 を実装しているベースキャリア 6 の温度を最大 25 度変化させるとともに半導体レーザ 1 への注入電流調整により発振波長を変えることによって、所望の波長制御ポイントにも合わせることが可能となる。

さらに、一軸性複屈折結晶として、 CaCO_3 結晶を用いることもできる。 CaCO_3 結晶の場合は、常光軸方向のみ温度補償条件を満足し、そのときの $dn/dT + \alpha n = 0$ を満たす角度 ϕ_c は 67.5 度となる。

なお、この場合、常光軸にレーザ光の偏光を揃えた場合に $\phi_c = 67.5$ 度に設定したが、この付近の角度であれば温度特性は十分低く抑えることができる。例えば、常光軸方向であれば約 65 ~ 70 度の範囲では温度特性は $\pm 1 \text{ pm}/\text{°C}$

となり、従来のソリッドエタロンの温度特性 ($\sim 10 \text{ pm}/^\circ\text{C}$) に比べて十分小さい。さらに、他の ϕ_c においても異常光軸方向は $+4 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ から $+40 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ まで、常光軸方向は $-7 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ から $+40 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ までであれば任意に温度係数を選択できる。これにより温度変化によって波長特性を調節することが可能となり、ITUグリッドへの調整が容易となる。例えば、一軸性複屈折結晶3をFSR = 25 GHzとなるように厚みを約3.6 mmに、且つ温度特性が8 pm/ $^\circ\text{C}$ となるように ϕ_c を設定する。この場合、一軸性複屈折結晶3の温度を1 $^\circ\text{C}$ 変化させることによって1 GHz波長特性をずらすことが可能となる。従ってあらかじめ規定しておいた波長制御ポイントに25 GHzスペーシングのITUグリッドに合わせようとした場合、半導体レーザ1を実装しているベースキャリア6の温度を最大25度変化させるとともに半導体レーザ1への注入電流調整により発振波長を変えることによって、所望の波長制御ポイントにも合わせることが可能となる。

この他にも、ファブリペロー共振器の温度補償条件式(7)を満たす材料であれば、他の任意の一軸性複屈折結晶を用いても良い。また、第3図に示された波長モニタ装置と第16図に示された波長制御装置を組み合わせることにより、波長安定化光源を構成することが可能である。

第17図は、この発明の実施の形態1の変更態様による波長モニタ装置を示す構成図である。第17図に示す波長モニタ装置においては、ファブリペロー共振器3の上方に位置する第2のフォトダイオード5を、レンズ2との間隔を狭めるように第1のフォトダイオード4よりも前方に配置する。すなわち、この場合は、ベースキャリア6の第2のフォトダイオード5を設置する箇所を、半導体レーザ1のほうにせり出すように構成しており、ベースキャリア6の第1のフォトダイオード4を設置する箇所とベースキャリア6の第2のフォトダイオード5を設置する箇所との間には、段差部を形成している。

このようにこの第17図の構成によれば、第2のフォトダイオード5を、第1のフォトダイオード4よりも前方に配置しているので、たとえ光信号がファブリ

ペロー共振器3に入射された後、ベースキャリア6の底面で散乱しても、散乱光がファブリペロー共振器3を透過した後、第2のフォトダイオード5で受光されることがなくなる。

実施の形態2.

5 実施の形態1においては、光信号を受光するフォトダイオードが2個設置され、それぞれのフォトダイオードにおいて、光信号の波長および強度のモニタをおこなっていた。これに対し、実施の形態2においては、フォトダイオードを3個配置し、2個のファブリペロー共振器（波長フィルタ）を上下に並列に配置することにより、3個配置されたフォトダイオードのうちの2個のフォトダイオードを用いて、広帯域および狭帯域における光信号の波長をモニタし、1個のフォトダイオードを用いて光強度信号のモニタを行うようにしている。

第18図はこの発明の実施の形態2による波長モニタ装置を示す構成図である。なお、この実施の形態2の構成要素のうち、実施の形態1の波長モニタ装置の構成要素と共通するものについては同一符号を付し、その部分の説明を省略する。

15 半導体レーザ1は第19図に示されている波長制御装置60から送られる制御信号T1により、温度および注入電流等が調節され、波長が制御される。ファブリペロー共振器（波長フィルタ）21はファブリペロー共振器（波長フィルタ）3と同じく、実施の形態1において示された温度補償機能を持つように切り出された一軸性複屈折結晶（例えば β -BBO）を材料とし、その入射面および出射面20に反射膜23および24を有する。

この場合、下側に配置されるファブリペロー共振器3のZ方向の厚みを、上側に配置されるファブリペロー共振器21の厚みよりも大きくし、これによりファブリペロー共振器3を狭帯域高精度モニタ用とし、ファブリペロー共振器21を広帯域モニタ用としている。第3のフォトダイオード22はファブリペロー共振器21を透過した光信号強度を検出するものであり、第1のフォトダイオード4と第2のフォトダイオード5の中間に配置される。

次に第18図の波長モニタ装置の動作の説明を行う。半導体レーザ1を出射し

た光信号はレンズ2で集光され平行光に変換される。第1のフォトダイオード4においては、ファブリペロー共振器（狭帯域用）3を透過した光信号強度が検出され、第3のフォトダイオード22においてはファブリペロー共振器（広帯域用）21を透過した光信号強度が検出される。第1のフォトダイオード4で検出された光強度モニタ信号をS1とし、第3のフィトダイオード22で検出された光強度モニタ信号をS3とし、第2のフォトダイオード5で検出された光強度モニタ信号をS2とする。光強度モニタ信号S1、S2およびS3は、第19図に示される波長制御装置60に送られる。波長制御装置60は、これらの信号S1、S2およびS3を用いて発振波長を検出し、この検出波長に基づき半導体レーザ1より出射される光信号の波長を制御するための制御信号T1を形成し、この制御信号T1を半導体レーザ1に出力する。

第20図は、狭帯域用のファブリペロー共振器3および広帯域用のファブリペロー共振器21のそれぞれの波長透過特性を示すものである。

第20図に示すように、狭帯域用のファブリペロー共振器3のFSRは、広帯域用のファブリペロー共振器21のFSRに比べて非常に小さくなるように、それらの共振器長を設定する。また、広帯域用のファブリペロー共振器21のFSRの半分すなわち波長弁別領域は、半導体レーザ1の波長可変範囲よりも大きく、半導体レーザ1の波長可変範囲がファブリペロー共振器21のFSR内の1つのスロープ内に収まっているとする。例えば、狭帯域用のファブリペロー共振器3のFSRが20THz、反射膜の強度反射率は30%であり、広帯域用のファブリペロー共振器21のFSRが100GHz、反射膜の強度反射率は30%であるとする。

次に、第19図に示す波長制御装置60の構成について説明する。波長制御装置60は、波長検出部61およびレーザ制御部52により構成される。波長検出部61には、第1～第3のフォトダイオード4、5、22からの光強度モニタ信号S1、S2、S3と、基準波長 λ_0 が入力される。波長検出部61は、光強度モニタ信号S1、S2、S3によって半導体レーザ1より出射されている光信号

の発振波長を求め、この発振波長と基準波長 λ_0 との差を求める。レーザ制御部52には、波長検出部61から基準波長 λ_0 と半導体レーザ1から出射された発振波長との差が入力され、レーザ制御部52は、その差に応じて発振波長が基準波長 λ_0 に一致するように半導体レーザ1の温度や注入電流等を制御するための5 制御信号T1を求め、この制御信号T1を半導体レーザ1に出力する。

波長検出部61の動作について詳細に説明する。はじめに、波長検出部61は、広帯域用のファブリペロー共振器21を透過した光強度モニタ信号S3を用いて基準波長 λ_0 とのずれを検出する。すなわち、前述したように、波長検出部61は、広帯域用のファブリペロー共振器21の波長透過特性を用いて求め求めてお10 いた基準波長 λ_0 での信号強度比S1/S2と、第2および第3のフォトダイオード5、22からの光強度モニタ信号S2、S3に基づき求めた信号強度比S3/S2との差を求ることにより、発振波長と基準波長 λ_0 とのずれ（偏差）を算出する。

このずれ量が狭帯域用のファブリペロー共振器3のスロープ幅よりも大きければ、この値がそのままレーザ制御部52へ送られる。しかし、光強度モニタ信号S3、S2を用いて算出した基準波長 λ_0 からのずれ量が、狭帯域用のファブリペロー共振器3のスロープ幅よりも小さければ、狭帯域用のファブリペロー共振器3のスロープ特性を用いて、基準波長 λ_0 からのずれ量を再度計算することにより、より高精度に発振波長を検出する。すなわち、狭帯域用のファブリペロー共振器3の波長透過特性を用いて求め算出した基準波長 λ_0 での信号強度比S1/S2と、第1および第2のフォトダイオード4、5からの光強度モニタ信号S1、S2に基づき求めた信号強度比S3/S2との差を求ることにより、発振波長と基準波長 λ_0 とのずれ（偏差）を算出する。このようにして求められたずれ量（偏差信号）がレーザ制御部52へ送られる。

25 レーザ制御部52は、先の実施の形態1と同様に動作する。すなわち、レーザ制御部52では、波長検出部61から入力される偏差信号を用いて、温度もしくは注入電流等の値を変化させる制御信号T1を半導体レーザ1に出力することに

より、半導体レーザ1の波長を制御する。

広帯域用のファブリペロー共振器21のFSR内にある1つのスロープは半導体レーザ1の波長可変領域よりも大きいため、広帯域にわたり絶対波長をモニタすることができる。しかし、広帯域用のファブリペロー共振器21の波長透過特性は、第20図にも示すように、狭帯域用のファブリペロー共振器3の波長透過特性よりも、波長変化に対する信号強度変化が小さい。すなわち、光強度モニタ信号S3は、光強度モニタ信号S1に比べ、波長変化に対する信号強度変化が小さい。

そのため、S3/S2の値が設定された値からはずれた場合、S1/S2が同じ値だけずれた場合に比べて波長が大きくずれてしまうことになる。そこで、狭帯域用の波長モニタであるファブリペロー共振器3を透過した光信号強度S1を用いることにより、半導体レーザ1より出射された光信号の波長をより精度良く固定することができる。

なお、下側に配置するファブリペロー共振器3を広帯域用の波長モニタとして用い、上側に配置するファブリペロー共振器21を狭帯域用の波長モニタとして用いるように各共振器3、21の共振器長を調整するようにしてもよい。

このようにこの実施の形態2によれば、半導体レーザ1から出射される光信号の絶対波長を広帯域にわたり高精度に制御することができる。なお、第18図に示された波長モニタ装置と第19図に示された波長制御装置を組み合わせることにより、波長安定化光源を構成することが可能である。

第21図は、この発明の実施の形態2の変更態様による波長モニタ装置を示す構成図である。第21図に示す波長モニタ装置においては、ファブリペロー共振器3の上方に位置する第2および第3のフォトダイオード5、22を、レンズ2との間隔を狭めるように第1のフォトダイオード4よりも前方に配置する。この場合は、ベースキャリア6の第2および第3のフォトダイオード5、22を設置する箇所を、半導体レーザ1のほうにせり出すように構成しており、ベースキャリア6の第1のフォトダイオード4を設置する箇所とベースキャリア6の第2お

および第3のフォトダイオード5、22を設置する箇所との間には、段差部を形成している。

5 このようにこの第21図の構成によれば、第2および第3のフォトダイオード5、22を、第1のフォトダイオード4よりも前方に配置しているので、光信号がファブリペロー共振器3に入射された後、ベースキャリア6の底面で散乱しても、散乱光がファブリペロー共振器3を透過した後、第2および第3のフォトダイオード5、22で受光されることがなくなる。

産業上の利用可能性

10 この発明は、光ファイバーを利用した波長分割多重（WDM）通信、高密度波長分割多重（DWDM）通信に用いられる光源としての半導体レーザの波長フィルタあるいは波長モニタ装置として用いて好適である。また、温度変動の影響を受けることなくレーザ光の波長を高精度に選択あるいはモニタすることが要求され、また構造、組み立ての簡単化が要求されるシステムに適している。

請求の範囲

1. 光を透過する固体材料と、
前記固体材料に形成された略平行に対向する平面と、
 - 5 前記略平行に対向する平面間で光を共振させ、対向平面間の光路長できる波長を周期的に選択する波長フィルタにおいて、
前記固体材料が複屈折材料であるとともに、その光学軸が前記略平行に対向する平面の法線と所定の角度を有することを特徴とする波長フィルタ。
- 10 2. 上記略平行に対向する平面の法線と光学軸との間の所定の角度は、上記平面間の光路長の温度係数が所定の値を有するように設定されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の波長フィルタ。
- 15 3. 上記複屈折材料は、屈折率と光軸方向の線膨張係数との積と熱光学係数との和の絶対値が最小になるように上記略平行に対向する平面の法線と光学軸との角度が設定されていることを特徴とする請求の範囲第2項に記載の波長フィルタ。
- 20 4. 上記複屈折材料は、光学軸に平行な方向の線膨張係数と光学軸に平行に伝播する光の屈折率との積と光学軸に平行に伝播する光の熱光学係数との和と、光学軸に垂直な方向の線膨張係数と光学軸に垂直な方向に伝播する光の屈折率との積と光学軸に垂直な方向に伝播する光の熱光学係数との和が互いに異符号であることを特徴とする請求の範囲第2項に記載の波長フィルタ。
- 25 5. 上記複屈折材料は、 α -BBO結晶、 β -BBO結晶、LiIO₃結晶、CaCO₃結晶のいずれかであることを特徴とする請求の範囲第4項に記載の波長フィルタ。

6. 上記複屈折材料に入射する光は異常光軸に揃えた偏光を用い、

複屈折材料が α - BBO 結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約 64 度
とし、

複屈折材料が β - BBO 結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約 65 度
5 とし、

複屈折材料が LiIO₃ の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約 23 度とす
ることを特徴とする請求の範囲第 5 項に記載の波長フィルタ。

7. 上記複屈折材料に入射する光は常光軸に揃えた偏光を用い、

10 複屈折材料が α - BBO 結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約 77 度
とし、

複屈折材料が β - BBO 結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約 57 度
5 とし、

複屈折材料が LiIO₃ 結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約 19 度
15 とし、

複屈折材料が CaCO₃ 結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約 66 度
とすることを特徴とする請求の範囲第 5 項に記載の波長フィルタ。

8. 半導体レーザから出力されるレーザ光の波長をモニタする波長モニタ装置

20 において、

レーザ光を透過する固体材料と、

前記固体材料に形成された略平行に対向する平面と、

前記略平行に対向する平面間でレーザ光を共振させ、対向平面間の光路長でき
まる波長を周期的に選択する波長フィルタと、

25 前記波長フィルタの透過光に基づきレーザ光の発振波長を測定する波長検出手
段を備え、

前記固体材料が複屈折材料であるとともに、その光学軸が前記略平行に対向す

る平面の法線と所定の角度を有することを特徴とする波長モニタ装置。

9. 前記半導体レーザから出力されるレーザ光は、1方向に偏光されたもので
あり、

5 上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、前記レーザ光の光軸と偏光方向と
で作られる平面に対し平行な面内に光学軸があり、この光学軸がレーザ光の光軸
に対し所定の角度に傾いていることを特徴とする請求の範囲第8項に記載の波長
モニタ装置。

10 10. 前記半導体レーザから出力されるレーザ光は、1方向に偏光されたもの
であり、

上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、前記レーザ光の光軸と偏光方向と
で作られる平面に対し垂直な面内に光学軸があり、この光学軸がレーザ光の光軸
に対し所定の角度に傾いていることを特徴とする請求の範囲第8項に記載の波長
15 モニタ装置。

11. 前記波長フィルタを構成する複屈折材料は、結晶の屈折率、光軸方向の
線膨張係数および熱光学係数に基づき、光学軸の光軸に対する角度が設定されて
いることを特徴とする請求の範囲第8項に記載の波長モニタ装置。

20

12. 前記略平行に対向する平面の法線と光学軸との所定の角度は、上記平面
間の光路長の温度係数が所定の値を有するように設定されていることを特徴とす
る請求の範囲第8項に記載の波長モニタ装置。

25

13. 上記複屈折材料は、屈折率と光軸方向の線膨張係数との積と熱光学係数
との和の絶対値が最小になるように上記略平行に対向する平面の法線と光学軸と
の角度が設定されていることを特徴とする請求の範囲第12項に記載の波長モニ

タ装置。

14. 上記複屈折材料は、光学軸に平行な方向の線膨張係数と光学軸に平行に伝播する光の屈折率との積と光学軸に平行に伝播する光の熱光学係数との和と、
5 光学軸に垂直な方向の線膨張係数と光学軸に垂直な方向に伝播する光の屈折率との積と光学軸に垂直な方向に伝播する光の熱光学係数との和が互いに異符号であることを特徴とする請求の範囲第1.2項に記載の波長モニタ装置。

15. 上記複屈折材料は、 α -BBO結晶、 β -BBO結晶、LiIO₃結晶、
10 CaCO₃結晶のいずれかであることを特徴とする請求の範囲第1.4項に記載の波長モニタ装置。

16. 上記複屈折材料に入射する光は異常光軸に揃えた偏光を用い、
複屈折材料が α -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約64度
15 とし、

複屈折材料が β -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約65度
とし、

複屈折材料がLiIO₃の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約23度とする
ことを特徴とする請求の範囲第1.5項に記載の波長モニタ装置。

20 17. 上記複屈折材料に入射する光は常光軸に揃えた偏光を用い、
複屈折材料が α -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約77度
とし、

複屈折材料が β -BBO結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約57度
25 とし、

複屈折材料がLiIO₃結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約19度
とし、

複屈折材料が CaCO_3 結晶の場合は、光学軸の光軸に対する角度を約 66 度とすることを特徴とする請求の範囲第 15 項に記載の波長モニタ装置。

18. 上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、屈折率と光軸方向の線膨張係数との積と、熱光学係数との和は零に一致するように光学軸の光軸に対する角度が設定されていることを特徴とする請求の範囲第 9 項に記載の波長モニタ装置。

19. 上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、屈折率と光軸方向の線膨張係数との積と、熱光学係数との和は零に一致するように光学軸の光軸に対する角度が設定されていることを特徴とする請求の範囲第 10 項に記載の波長モニタ装置。

20. 上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、 α -BBO、 β -BBO、 LiIO_3 のいずれかとし、

15 複屈折材料が α -BBO の場合は、光学軸の光軸に対する角度を 63.35 度とし、

複屈折材料が β -BBO の場合は、光学軸の光軸に対する角度を 64.75 度とし、

複屈折材料が LiIO_3 の場合は、光学軸の光軸に対する角度を 22.70 度とすることを特徴とする請求の範囲第 18 項に記載の波長モニタ装置。

21. 上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、 α -BBO、 β -BBO、 LiIO_3 、 CaCO_3 のいずれかとし、

複屈折材料が α -BBO の場合は、光学軸の光軸に対する角度を 76.95 度とし、

複屈折材料が β -BBO の場合は、光学軸の光軸に対する角度を 57.05 度とし、

複屈折材料が LiLO_3 の場合は、光学軸の光軸に対する角度を 18.65 度とし、

複屈折材料が CaCO_3 の場合は、光学軸の光軸に対する角度を 67.05 度とすることを特徴とする請求の範囲第 19 項に記載の波長モニタ装置。

5

22. 上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、光学軸に対する設定角度を維持しつつ、その光軸方向の厚みを変化させることで、温度補償条件を満足させてかつ波長弁別領域を調節可能であることを特徴とする請求の範囲第 8 項に記載の波長モニタ装置。

10

23. 前記半導体レーザから出射されるレーザ光のビームサイズを調節し、調節されたレーザ光を上記波長フィルタに出力するレンズを備えることを特徴とする請求の範囲第 8 項に記載の波長モニタ装置。

15

24. 前記波長検出手段は、

前記波長フィルタの透過光を検出する第 1 の光検出器と、

前記半導体レーザから出力されるレーザ光を直接検出する第 2 の光検出器と、

上記第 1 および第 2 の光検出器の検出信号の比を用いて前記レーザ光の発振波長を検出する波長検出部と、

20

を備えることを特徴とする請求の範囲第 8 項に記載の波長モニタ装置。

25. 前記半導体レーザおよび波長フィルタを載置するとともに、前記第 2 の光検出器が第 1 の光検出器より上方に位置するように前記第 1 および第 2 の光検出器を設置するベースキャリアを更に備え、

25

前記ベースキャリア上に載置された波長フィルタを透過したレーザ光が前記第 2 の光検出器で受光されないように波長フィルタの高さを調節していることを特徴とする請求の範囲第 24 項に記載の波長モニタ装置。

26. 前記半導体レーザおよび波長フィルタを載置するとともに、前記第2の光検出器が第1の光検出器より上方に位置するように前記第1および第2の光検出器を設置するベースキャリアを更に備え、
- 5 27. 前記ベースキャリア上に載置された波長フィルタを透過したレーザ光が前記第2の光検出器で受光されることはないように前記第2の光検出器を第1の光検出器よりも波長フィルタ側に接近させて配置していることを特徴とする請求の範囲第24項に記載の波長モニタ装置。
- 10 27. 半導体レーザから出力されるレーザ光の波長をモニタする波長モニタ装置において、
レーザ光を透過する第1の固体材料と、前記第1の固体材料に形成された略平行に対向する平面と、前記略平行に対向する平面間でレーザ光を共振させ、対向平面間の光路長できる波長を周期的に選択し、前記固体材料が複屈折材料であるとともに、その光学軸が前記略平行に対向する平面の法線と所定の角度を有する狭帯域用の第1の波長フィルタと、
レーザ光を透過する第2の固体材料と、前記第1の固体材料に形成された略平行に対向する平面と、前記略平行に対向する平面間でレーザ光を共振させ、対向平面間の光路長できる波長を周期的に選択し、前記固体材料が複屈折材料であるとともに、その光学軸が前記略平行に対向する平面の法線と所定の角度を有する広帯域用の第2の波長フィルタと、
前記第1および第2の波長フィルタの透過光に基づきレーザ光の発振波長を測定する波長検出手段と、
を備えたことを特徴とする波長モニタ装置。
- 25 28. 前記半導体レーザから出力されるレーザ光は、1方向に偏光されたものであり、

上記第1および第2の波長フィルタを構成する複屈折材料は、前記レーザ光の光軸と偏光方向とで作られる平面に対し平行な面内に光学軸があり、この光学軸がレーザ光の光軸に対し所定の角度に傾いていることを特徴とする請求の範囲第27項に記載の波長モニタ装置。

5

29. 前記半導体レーザから出力されるレーザ光は、1方向に偏光されたものであり、

上記波長フィルタを構成する複屈折材料は、前記レーザ光の光軸と偏光方向とで作られる平面に対し垂直な面内に光学軸があり、この光学軸がレーザ光の光軸10に対し所定の角度に傾いていることを特徴とする請求の範囲第27項に記載の波長モニタ装置。

30. 上記広帯域用の第2の波長フィルタの波長弁別領域が半導体レーザの波長可変領域より大きく、狭帯域用の第1の波長フィルタの波長弁別領域が第1の波長フィルタの波長可変領域に比べて十分小さくなるように、第1および第2の波長フィルタを構成する複屈折材料の光軸方向の厚みを設定することを特徴とする請求の範囲第27項記載の波長モニタ装置。

31. 前記波長検出手段は、

前記第1の波長フィルタの透過光を検出する第1の光検出器と、

前記半導体レーザから出力されるレーザ光を直接検出する第2の光検出器と、

前記第2の波長フィルタの透過光を検出する第3の光検出器と、

上記第1および第2の光検出器の検出信号の比および前記第3および第2の光検出器の検出信号の比を用いて前記レーザ光の発振波長を検出する波長検出部と、

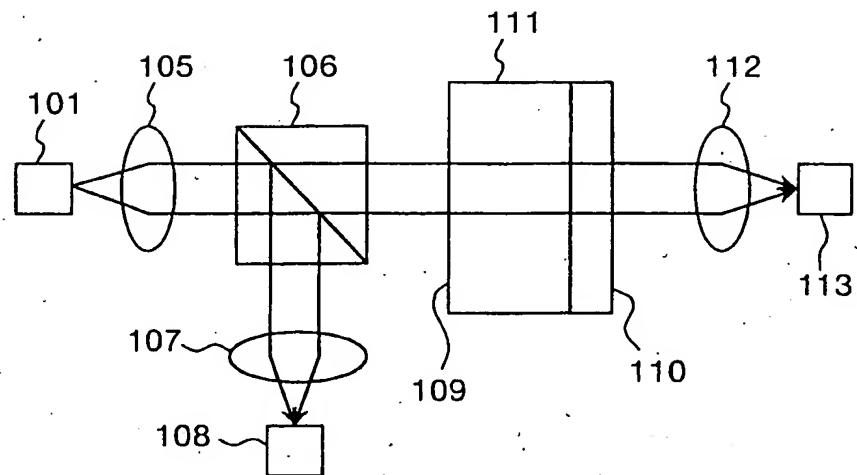
25 を備えることを特徴とする請求の範囲第27項に記載の波長モニタ装置。

32. 前記半導体レーザおよび波長フィルタを載置するとともに、前記第2お

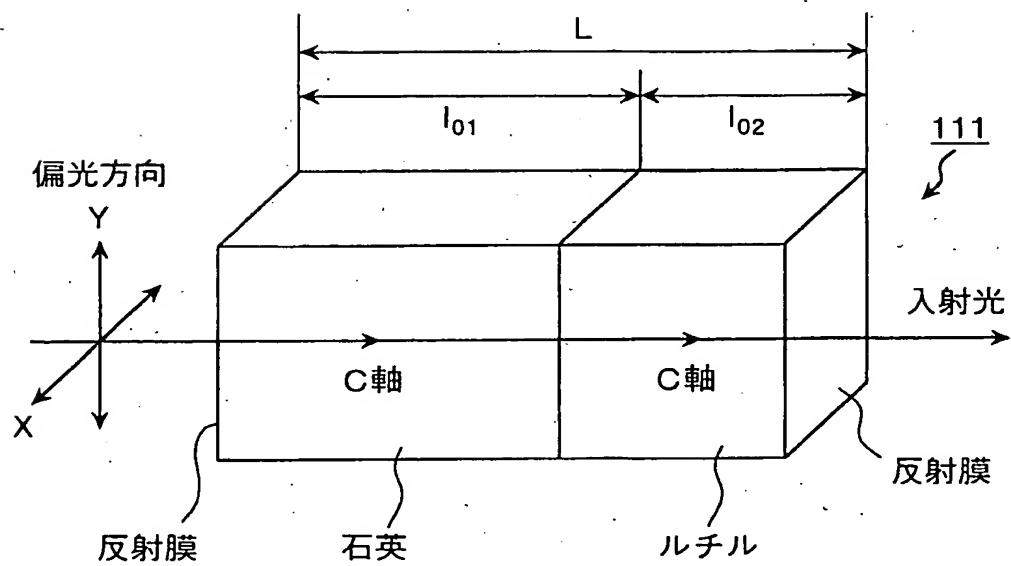
より第3の光検出器が第1の光検出器より上方に位置するように前記第1～第3の光検出器を設置するベースキャリアを更に備え、

前記ベースキャリア上に載置された波長フィルタを透過したレーザ光が第2および第3の光検出器で受光されないように前記第2および第3の光検出器を第1の光検出器よりも波長フィルタ側に接近させて配置していることを特徴とする請求の範囲第27項に記載の波長モニタ装置。

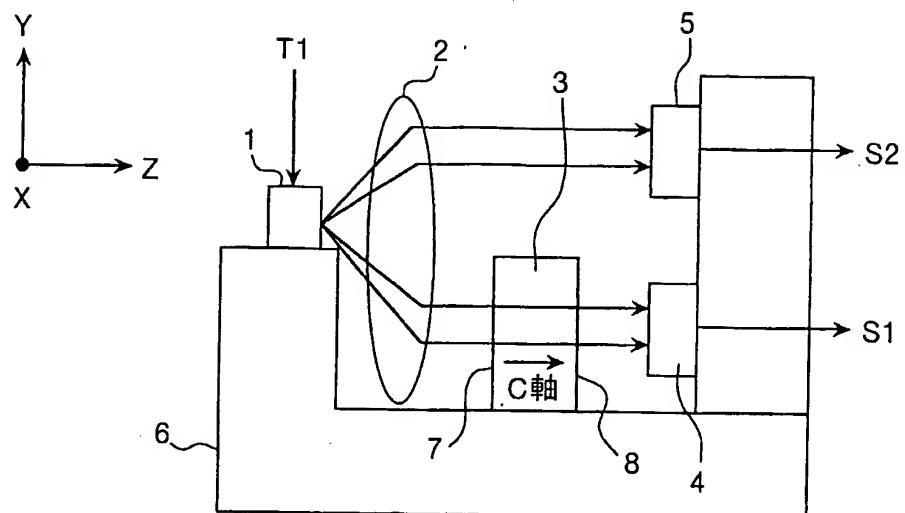
第1図



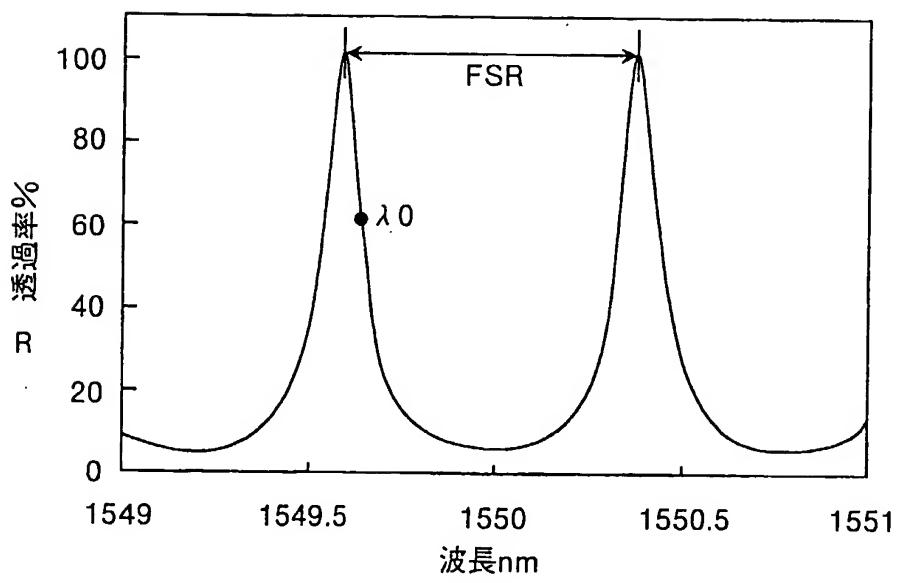
第2図



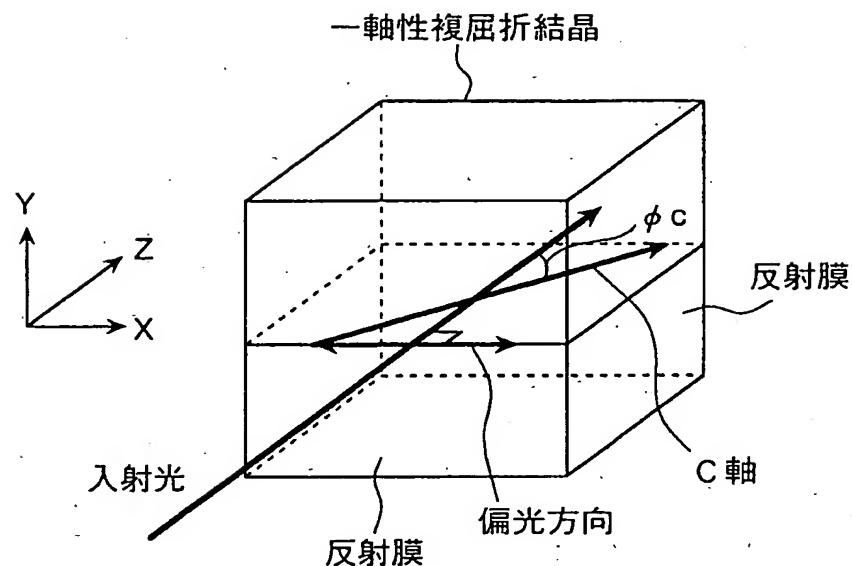
第3図



第4図



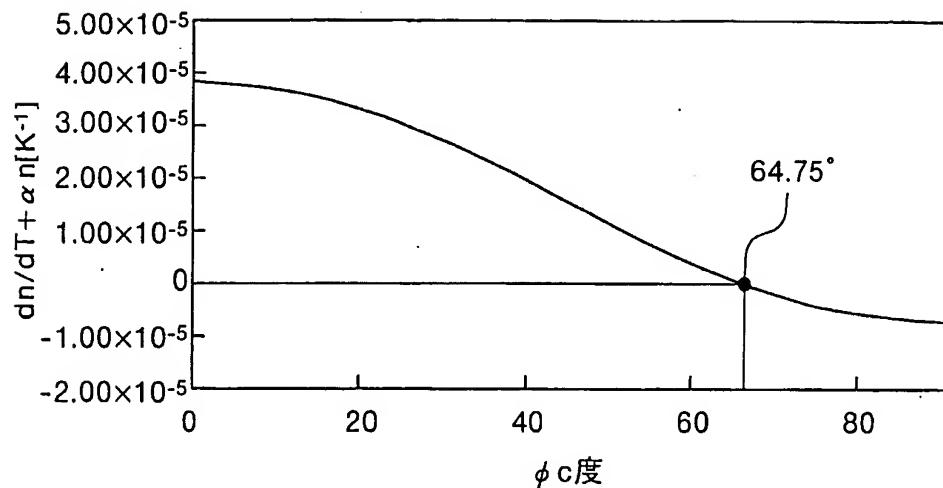
第5図



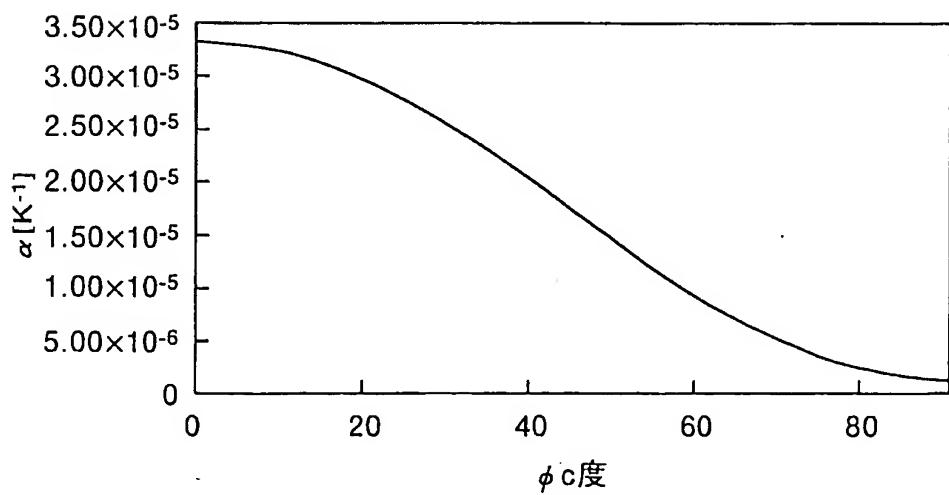
第6図

n_e	n_o	$d n_o / d T$ [$\times 10^{-6}/K$]	$d n_e / d T$ [$\times 10^{-6}/K$]	α_c [$\times 10^{-6}/K$]	α_a [$\times 10^{-6}/K$]
1.5311	1.6467	-16.8	-8.8	33.3	0.5

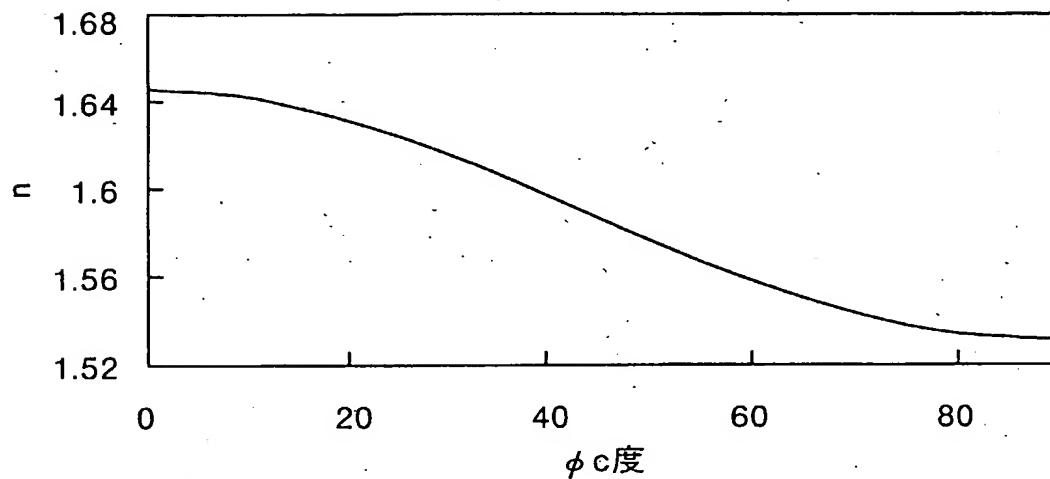
第7図



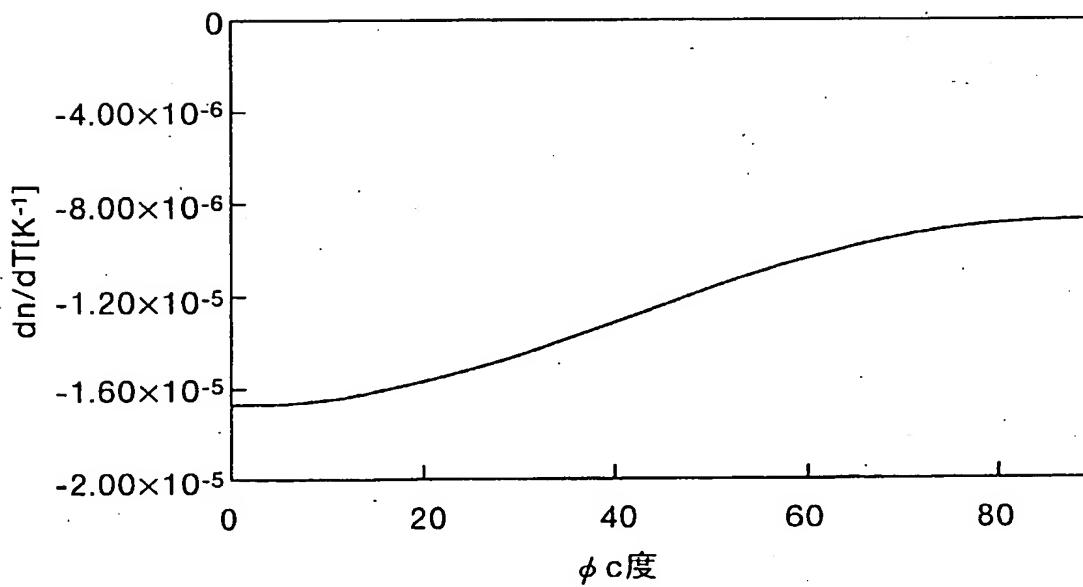
第8図



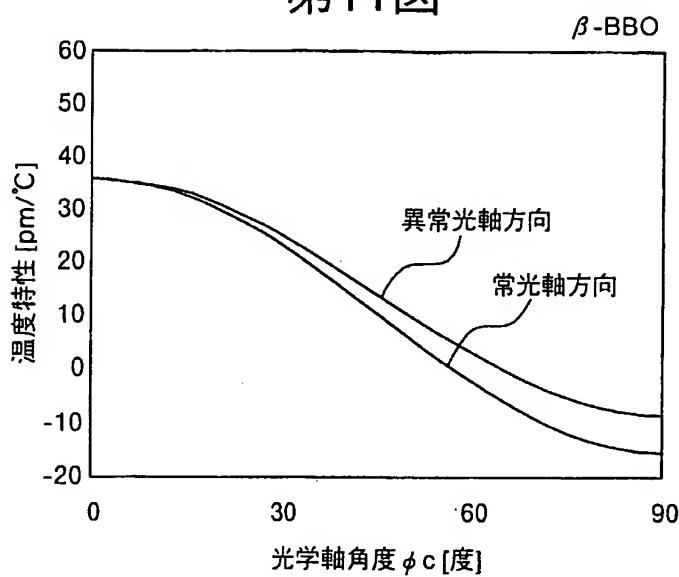
第9図



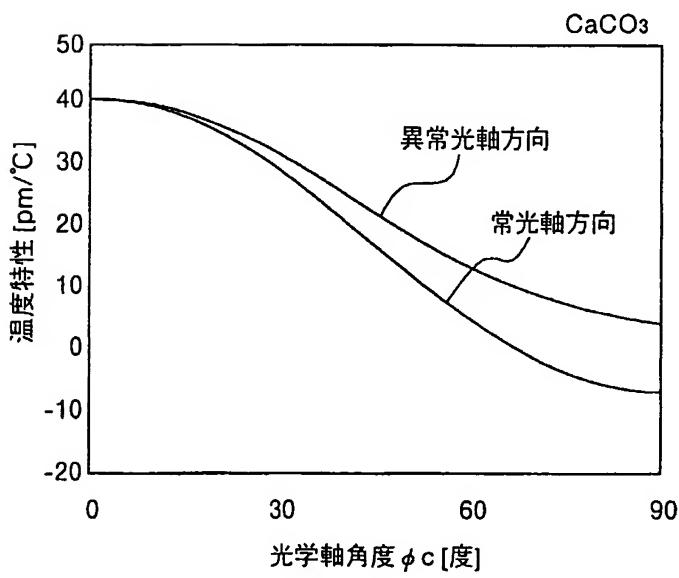
第10図



第11図

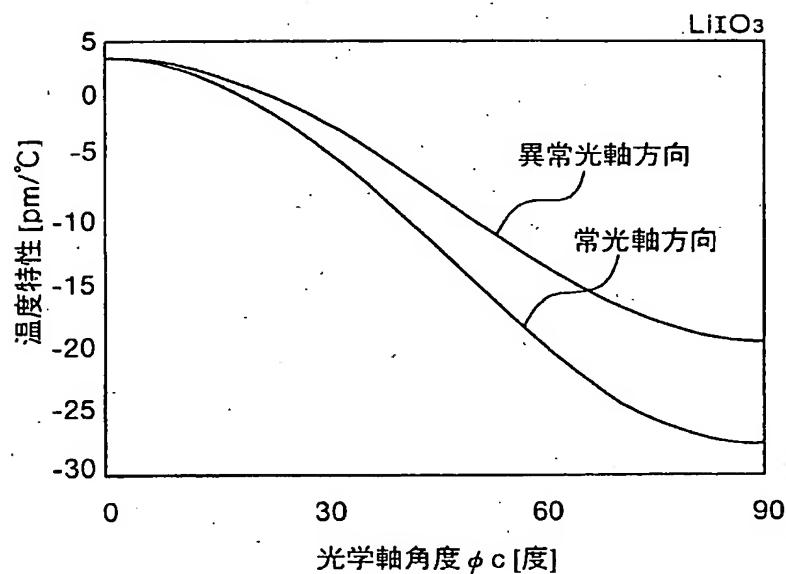


第12図

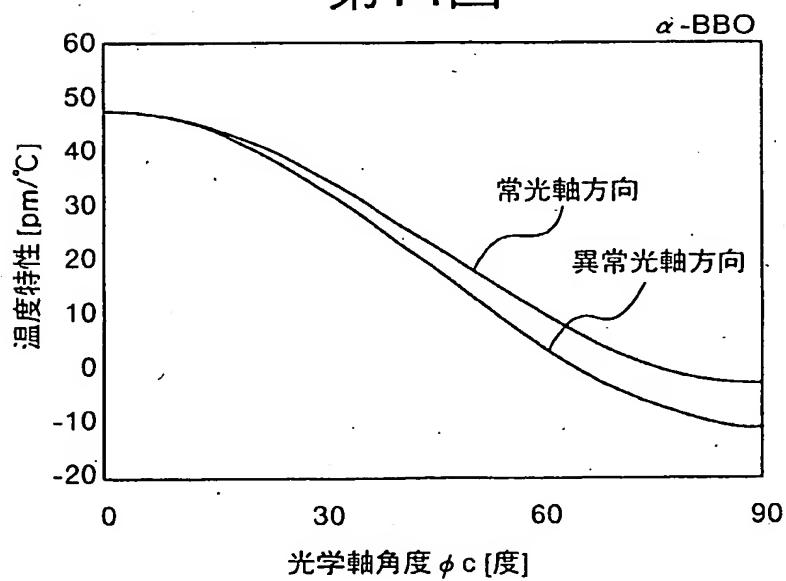


7/12

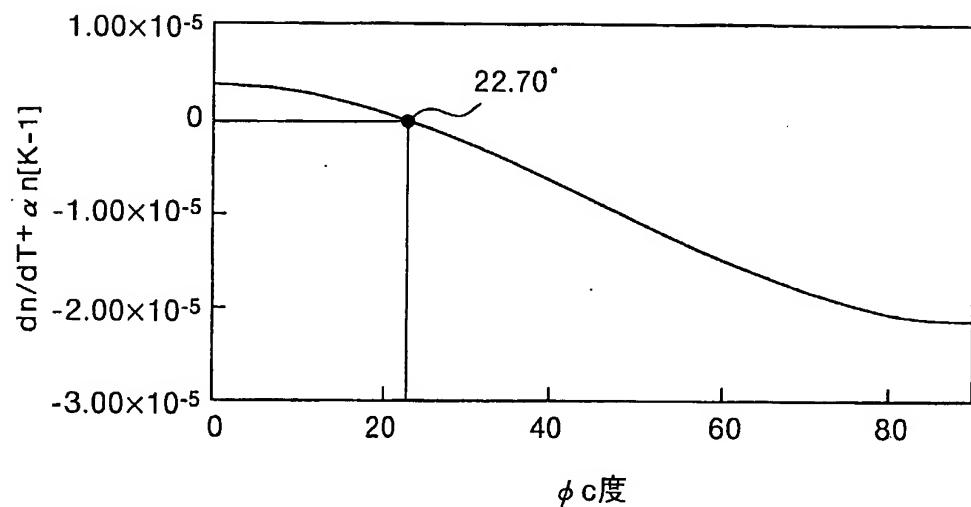
第13図



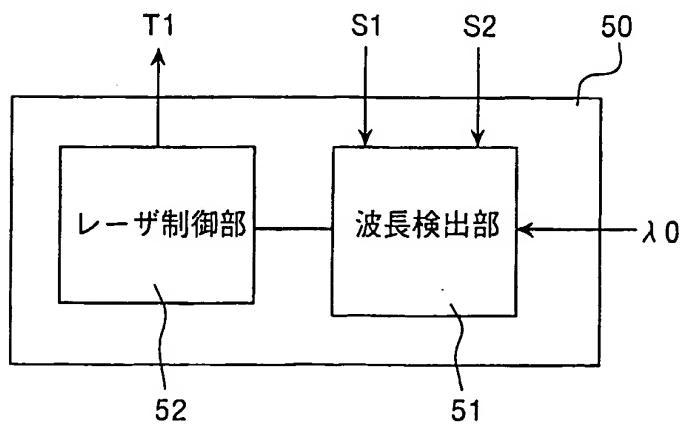
第14図



第15図

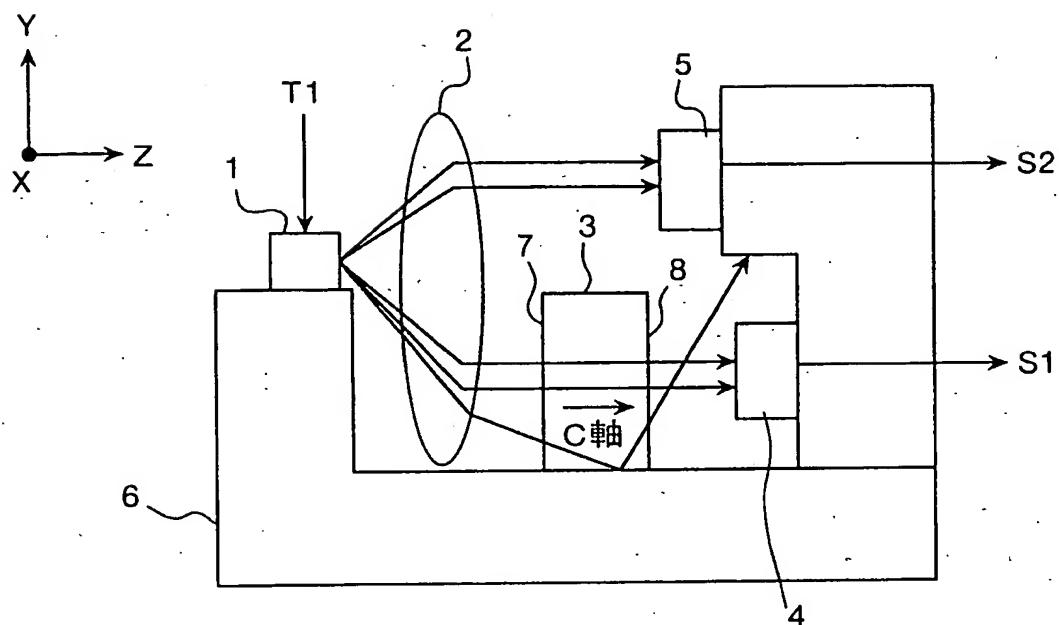


第16図

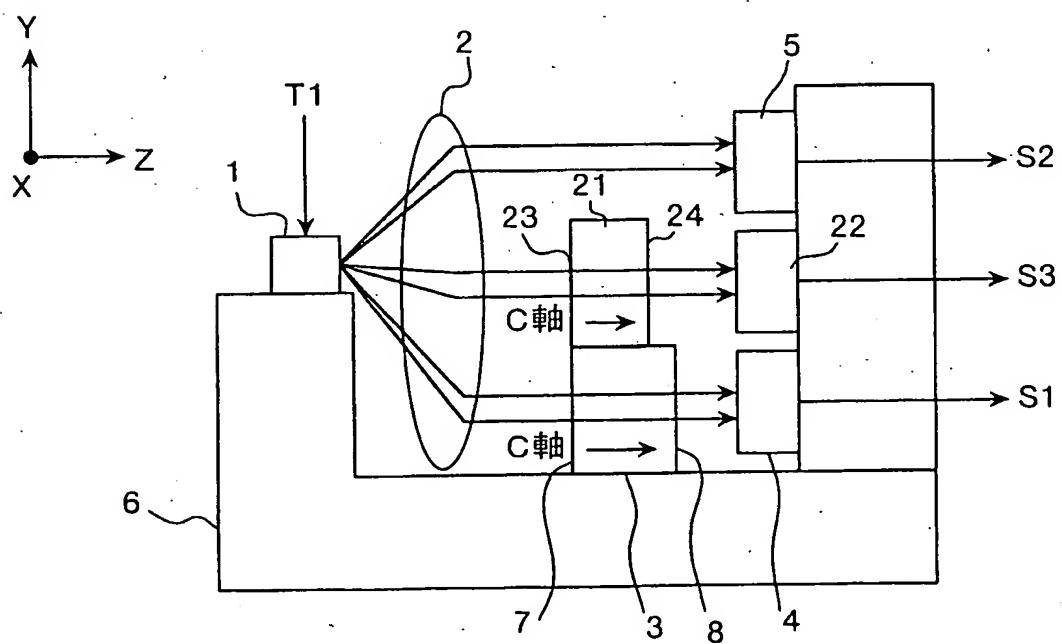


9/12

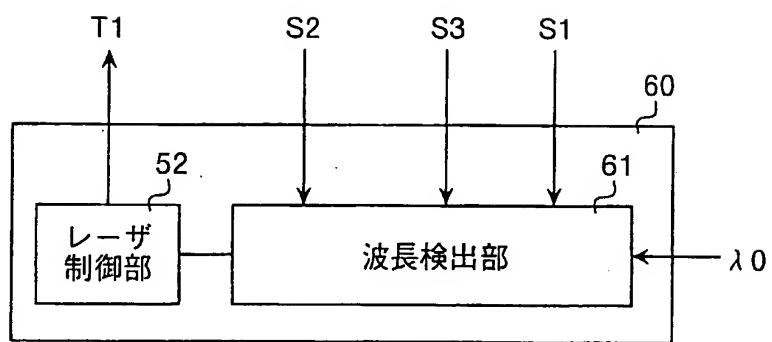
第17図



第18図

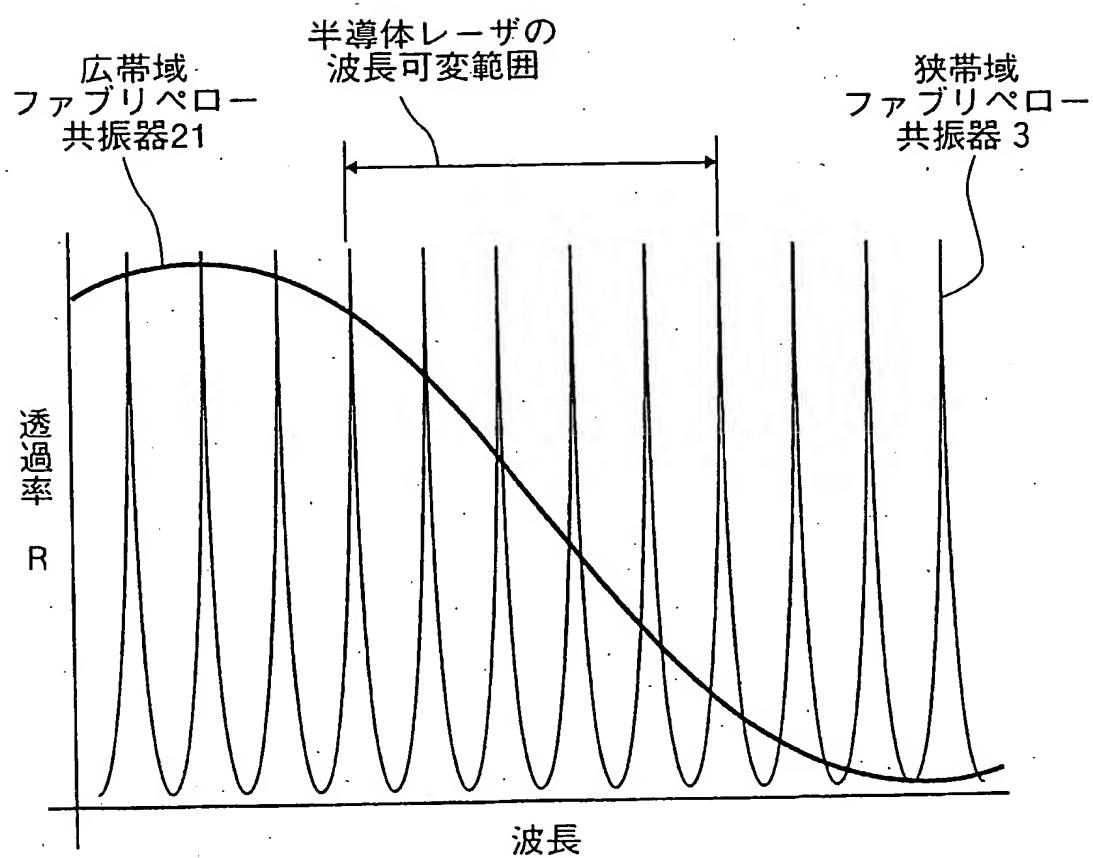


第19図

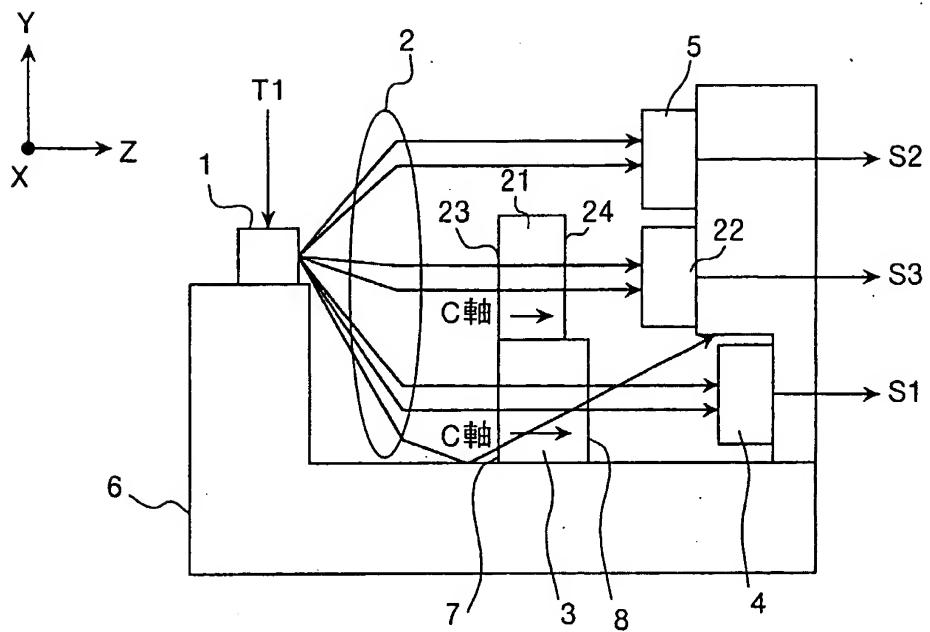


11/12

第20図



第21図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP02/09173

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl' G02B5/30, G02B5/28, G01J9/00, H01S5/0687

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl' G02B5/30, G02B5/28, G01J9/00, H01S5/0687

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1136848 A2 (Agree Systems Guardian Corp.), 26 September, 2001 (26.09.01), Full text; all drawings	1-5, 8-15, 18-19, 22-26
Y	& JP 2001-324702 A & CA 2336492 A1 & CN 1313522 A	6-7, 16-17, 20-21, 27-32
X	JP 2001-244557 A (Mitsubishi Electric Corp.), 07 September, 2001 (07.09.01), Full text; all drawings	1-2, 4-5, 8-12, 14-15, 23-26
Y	(Family: none)	3, 6-7, 13, 16-22, 27-32
A	JP 3-160774 A (Toshiba Corp.), 10 July, 1991 (10.07.91), Full text; all drawings (Family: none)	1-32

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

“A”	Special categories of cited documents: document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“T”	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“E”	earlier document but published on or after the international filing date	“X”	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“L”	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“Y”	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“O”	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	“&”	document member of the same patent family
“P”	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search 06 December, 2002 (06.12.02)	Date of mailing of the international search report 24 December, 2002 (24.12.02)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/09173

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-242115 A (Fujitsu Ltd.), 07 September, 1999 (07.09.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-32
A	US 5982488 A (Fujitsu Ltd.), 09 November, 1999 (09.11.99), Full text; all drawings & JP 9-257567 A & KR 97066634 A	1-32
Y A	EP 1158630 A1 (ALCATEL), 28 November, 2001 (28.11.01), Full text; all drawings & US 2002/0061039 A1 & JP 2002-9391 A	8-24 25-32
Y A	EP 1133034 A2 (NEC CORP.), 12 September, 2001 (12.09.01), Full text; all drawings & US 2001/0022793 A1 & JP 2001-257419 A & CA 2340315 A1	8-26 27-32
A	EP 1109276 A2 (LUCENT TECHNOLOGIES INC.), 20 June, 2001 (20.06.01), Full text; all drawings & JP 2001-196689 A & CN 1300123 A	27-32
A	EP 939470 A2 (NEC CORP.), 01 September, 1999 (01.09.99), Full text; all drawings & JP 11-251673 A	27-32
A	EP 867989 A1 (ANDO ELECTRIC CO., LTD.), 30 September, 1998 (30.09.98), Full text; all drawings & JP 10-270800 A & US 5970076 A	27-32

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. C1' G02B 5/30, G02B 5/28, G01J 9/00, H01S 5/0687

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. C1' G02B 5/30, G02B 5/28, G01J 9/00, H01S 5/0687

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2002年
日本国登録実用新案公報	1994-2002年
日本国実用新案登録公報	1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	EP 1136848 A2 (Agree Systems Guardian Corporation) 2001.09.26、全文、全図	1-5, 8-15, 18- 19, 22-26
Y	& JP 2001-324702 A & CA 2336492 A1 & CN 1313522 A	6-7, 16-17, 20- -21, 27-32
X	JP 2001-244557 A (三菱電機株式会社) 2001.09.07、全文、全図 (ファミリーなし)	1-2, 4-5, 8- 12, 14-15, 23- 26
Y		3, 6-7, 13, 16- 22, 27-32

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 06.12.02	国際調査報告の発送日 24.12.02
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 森内 正明 電話番号 03-3581-1101 内線 3269 2V 9222

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP02/09173

C (続き) 関連すると認められる文献		関連する請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
A	JP 3-160774 A (株式会社東芝) 1991.07.10、全文、全図 (ファミリーなし)	1-32
A	JP 11-242115 A (富士通株式会社) 1999.09.07、全文、全図 (ファミリーなし)	1-32
A	US 5982488 A (Fujitsu Limited) 1999.11.09、全文、全図 & JP 9-257567 A & KR 97066634 A	1-32
Y	EP 1158630 A1 (ALCATEL) 2001.11.28、全文、全図	8-24
A	& US 2002/0061039 A1 & JP 2002-9391 A	25-32
Y	EP 1133034 A2 (NEC CORPORATION) 2001.09.12、全文、全図	8-26
A	& US 2001/0022793 A1 & JP 2001-257419 A & CA 2340315 A1	27-32
A	EP 1109276 A2 (LUCENT TECHNOLOGIES INC.) 2001.06.20 、全文、全図 & JP 2001-196689 A & CN 1300123 A	27-32
A	EP 939470 A2 (NEC CORPORATION) 1999.09.01、全文、全図 & JP 11-251673 A	27-32
A	EP 867989 A1 (ANDO ELECTRIC CO., LTD) 1998.09.30、全文、全図 & JP 10-270800 A & US 5970076 A	27-32